1876. ANNALEN № 2.

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLVII.

I. *Ueber den Zusammenklang zweier Töne;*
von Dr. Rudolph König in Paris.

Wenn zwei Töne auf demselben Instrumente hervorgebracht werden oder durch die Schwingungen zweier Körper, die durch einen dritten nahe mit einander verbunden sind, so entstehen sehr complicirte Erscheinungen, welche zum Theil durch die Rückwirkung der beiden Tonquellen auf einander und die Wirkung beider auf den dritten sie verbindenden Körper hervorgerufen werden, zum Theil auch in dem Verhalten der beiden Wellenzüge im Luftraume ihren Grund finden. Es ist nun meine Absicht gewesen, in folgender Arbeit allein diese durch die Existenz zweier Tonwellenzüge im Luftraume entstehenden Erscheinungen einer genaueren Untersuchung zu unterwerfen, und ich habe daher zur Erzeugung dieser Wellenzüge nur Tonquellen angewendet, welche von einander vollständig isolirt waren und durchaus nicht direct auf einander, noch auch zusammen gemeinsam auf einen dritten Körper einwirken konnten. — Da ferner die durch Klänge hervorgerufenen Wellenzüge immer als aus mehreren Wellenzügen einfacher Töne zusammengesetzt zu betrachten sind und daher bei der Anwendung von Klängen mitunter zweifelhaft bleiben kann, ob die beobachteten Erscheinungen durch die Grundtöne oder die Obertöne hervorgerufen wurden, so bin ich auch darauf bedacht gewesen bei diesen Experimenten die Tonquellen so zu wählen, dafs sie nur möglichst einfache Töne erzeugten. Für

die tiefen Töne benutzte ich sehr starke, vor grofsen Resonatoren tönende Stimmgabeln, welche auf eisernen, isolirten Gestellen montirt waren, für die höheren Töne einfach starke Stimmgabeln, deren Tonintensität keiner weiteren Verstärkung mehr bedurfte.

Die ganze Reihe der Stimmgabeln und Resonanzröhren, welche ich bei diesen Untersuchungen anwendete, war folgende:

1) Fünf Stimmgabeln, welche ohne Gewichte die Töne Contra *G*, *C*, *E*, *G*, *c* (sol_{-1}, ut_1, mi_1, sol_1, ut_2) gaben. Von den vier höheren Gabeln kann jede vermittelst ihrer Laufgewichte bis zum Ton der nächst tieferen Gabel umgestimmt werden. Die Gabel Contra *G* kann durch ein Paar Laufgewichte bis zum Contra *E*, und durch ein ander Paar bis zum Contra *C* ($ut_{-1} = 64$ v. s.) vertieft werden, und diese letztere Gränze läfst sich noch durch Vermehrung der auf den Schiebern angebrachten Gewichte überschreiten. Die Stellungen der Laufgewichte auf diesen Gabeln sind für die Octave von Contra *C* zum grofsen *C* von einer einfachen Schwingung zur andern, und für die nächst höhere Octave von einer Doppelschwingung zur andern verzeichnet.

Die Zinken der tiefsten Gabel haben 35 Mm. Dicke, 55 Mm. Breite und etwa 75 Ctm. Länge. Die Zinken der andern vier Gabeln sind 39 Mm. dick, 55 Mm. breit und ihre Länge variirt von etwa 70 Ctm. bis zu 49 Ctm. Diese fünf Gabeln wiegen ohne die Fufsgestelle und Laufgewichte 130 Kilogramm.

2) Acht Stimmgabeln, welche ohne Gewichte auf die Töne c, e, g, c', c', e', g', c'' (ut_2, mi_2, sol_2, ut_3, ut_3, mi_3, sol_3, ut_4) gestimmt sind und vermittelst ihrer Laufgewichte wieder alle Zwischentöne herzustellen gestatten. Ihre Zinken haben 26 Mm. Dicke, 26 Mm. Breite und etwa von 59 Ctm. bis zu 19 Ctm. Länge.

Die Stimmgabeln für die Octave vom kleinen *c* zum eingestrichenen c' tragen eine Theilung für die Stellungen

der Laufgewichte von zwei zu zwei, und für die nächst höhere Octave von vier zu vier Doppelschwingungen.

3) Neun Stimmgabeln auf die Töne der Tonleiter von c'' zu c''' und auf den siebenten harmonischen Ton des kleinen *c* gestimmt, deren Zinken 25 Mm. Breite haben, unten 25 Mm. dick sind und nach den Enden zu bis auf etwa 12 Mm. dünner werden. Ihre Länge variirt von etwa 20 zu 13 Ctm.

4) Zwölf Stimmgabeln für die Töne der Tonleiter von c''' zu c^{IV}, den elften, dreizehnten und vierzehnten harmonischen Ton des kleinen *c*, und den Ton von 2389,3 v. s., welcher mit c' (512 v. s.) das Verhältnifs 3 : 7 bildet, mit Zinken von 15 Mm. Breite, deren Dicke unten 10 Mm., an den Enden etwa 7 Mm. beträgt, und welche Längen von etwa 9 bis zu 6 Ctm. haben.

5) Elf Gabeln für die Töne der Tonleiter von c^{IV} zu c^{V} und den elften, dreizehnten und vierzehnten harmonischen Ton des eingestrichenen c'. Die Breite ihrer Zinken ist gleich 23 Mm., die Dicke unten gleich 18 Mm. und an den Enden etwa gleich 9 Mm. Ihre Länge variirt von etwa 8 zu 5 Ctm.

6) Eine Reihe von elf Stimmgabeln für Töne zwischen h''' und c^{IV}, und eine Reihe von neun Stimmgabeln für Töne zwischen 7936 v. s. und c^{V} (8192 v. s.), mit Zinken von 14 Mm. Breite und unten etwa 8 Mm. Dicke.

7) Drei Paar Resonatoren für die Verstärkung der Töne vom grofsen *C* bis c'', welche mit Schraubenstempeln versehen sind, so dafs sie mit gröfster Genauigkeit auf den jedesmal zu verstärkenden Ton gestimmt werden können. Sie sind aus Messing und auf eisernen Gestellen montirt. An der Oeffnung jeder dieser Resonanzröhren können zwei Seitenplatten angebracht werden für den Fall, dafs die tönende Stimmgabel wegen ihrer Gewichte nicht nahe genug an die Oeffnung gebracht werden kann und man so wenig als möglich von ihrer Wirkung auf die Luftmasse verlieren will. Aufserdem ist auch noch jeder Stempel nahe an der durch ihn hindurchgehenden und

ihn bewegenden Schraube durchbohrt und mit einer kleinen Röhre versehen, die für gewöhnlich geschlossen ist, welche man jedoch öffnen kann um durch dieselbe vermittelst eines Kautschukschlauches das Ohr in directe Verbindung mit der inneren Luftmasse des Resonators zu setzen.

Die beiden Resonatoren, welche die Töne vom großen *C* bis *g* verstärken, haben einen Durchmesser von 30 Ctm., eine Länge von 1 M. 15 Ctm. und ihre Oeffnung in der Vorderplatte ist 27 Ctm. lang und 12 Centimeter breit.

Die zwei Resonatoren, welche von *G* bis *g'* gestimmt werden können, haben 25 Ctm. im Durchmesser, sind 50 Ctm. lang, und ihre Oeffnung hat 23 Ctm. Länge und 7 Ctm. Breite.

Das dritte Paar Resonatoren verstärkt die Töne von *g* bis *c''*. Ihre Länge beträgt 36 Ctm., ihr Durchmesser 25 Ctm. und ihre Oeffnung hat 15 Ctm. Länge und 7 Centimeter Breite.

I. Primäre Stöfse und Stofstöne.

A. Intervalle mit dem Grundton $C = 128$ v. s.

Wenn man neben dem tiefen, einfachen und starken Tone *C* (128 v. s.), wie er durch eine grofse Stimmgabel, welche vor ihrem Resonator tönt, hervorgebracht wird, einen zweiten, in gleicher Weise erzeugten Ton ertönen läfst, den man vom Einklange ausgehend immer mehr und mehr erhöht, so hört man die sofort nach der Störung des Einklanges entstandenen Stöfse immer schneller werden. Ist man mit dem höheren Ton bis zu 152 oder 156 v. s., also zwischen *D* und *E* gekommen, so gehen die Stöfse, welche bis dahin, in der Zahl von 12 bis 14, einzeln hörbar waren, in ein Rollen über, das bis in die Gegend der Quarte bis etwa 171 v. s. (22 St.) immer schneller wird, ohne seinen einfachen Charakter zu verlieren. Ueber die Quarte hinaus entsteht ein verworrenes, aber immer sehr lautes Rasseln, welches über die Quinte fortdauert, bis es

in der Gegend der Sexte, bei etwa 212 bis 216 v. s. wieder an Verworrenheit verliert, in ein noch schnelles, aber einfaches Rollen übergeht, welches sich zwischen der Sexte und Septime so sehr verlangsamt, dafs man bei 238 und 236 v. s. schon 12 und 10 einzelne Stöfse zählen kann, die bei der Septime $H = 240$ v. s. zu 8, bei 244 v. s. zu 6 werden und immer geringer an Zahl, bei der Octave von $c = 256$ v. s. zuletzt gänzlich verschwinden.

Da man die Schwingungszahlen der primären Töne auf den Stimmgabeln direct ablesen kann, so findet man sofort, dafs die Anzahl der in der Nähe des Einklanges einzeln vernehmbaren Stöfse gleich der Differenz der Doppelschwingungen der beiden primären Töne ist, und die der Stöfse in der Nähe der Octave gleich der Differenz der Doppelschwingungen des höheren der beiden primären Töne und der Octave des tieferen.

Man kann die angegebenen Resultate kurz in folgender Weise zusammenfassen: Jedes Intervall $n : n'$ (kleiner als die Octave), erzeugt zwei Arten von Stöfsen, deren Anzahl gleich dem positiven und negativen Reste der Division $\frac{n'}{n}$ ist, d. h. gleich den beiden Zahlen m und $m' = n - m$, welche man erhält, indem man setzt: $n' = n + m = 2n - m'$. Ich werde im Folgenden der Kürze wegen die Stöfse m untere, und die Stöfse m' obere Stöfse nennen. Erweitert man das Intervall zweier Töne vom Einklange bis zur Octave, so wächst die Anzahl der unteren Stöfse von 0 bis n, und die der oberen Stöfse verringert sich von n zu 0. Bei der Quinte ist die Anzahl beider Arten Stöfse $= \frac{n}{2}$. Ist m viel kleiner als $\frac{n}{2}$, so sind nur die unteren Stöfse hörbar; ist m viel gröfser als $\frac{n}{2}$, so hört man nur die oberen Stöfse, und ist m nahe gleich $\frac{n}{2}$, so kann man beide Arten Stöfse m und $n - m$ zugleich wahrnehmen.

Die unteren Stöfse sind stärker als die oberen Stöfse, und ihre Hörbarkeit erstreckt sich daher weiter

über die Quinte hinaus, als die der oberen Stöfse über denselben Ton hinabreicht.

In der Octave vom grofsen *C* zum kleinen *c*, mit welcher wir es hier zu thun gehabt haben, ist es sehr schwer aus dem lauten, verworrenen Gerassel der unteren und oberen Stöfse unter und über der Quinte den Rhythmus herauszuhören, welcher jeder dieser Arten Stöfse zukommt da die Zahl der unteren Stöfse sowohl wie die der oberen immer so grofs ist, dafs sie einzeln gehört, schon ein sehr schnelles Rollen bilden würden. Es ist mir daher auch nur gelungen, beide Arten Stöfse während ihrer Existenz zur gesonderten und ganz deutlichen Wahrnehmbarkeit zu bringen, indem ich zum Grundton der Intervalle einen noch viel tieferen Ton als das grofse *C*, nämlich das Contra *E* (80 v. s.) wählte.

Die grofse Gabel trug auf einer ihrer Zinken eine Holzplatte von 24 Ctm. Breite und 40 Ctm. Länge und wurde durch einen zwischen ihren Zinken befindlichen starken Elektromagneten in starke Schwingungen von 12 bis 15 Mm. Weite versetzt. Vor dieser Platte hielt ich das Ohr, während ich demselben zu gleicher Zeit mehr oder weniger eine Stimmgabel mit Laufgewichten und Theilung näherte, welche ich frei in der Hand hielt. Experimentirt man in dieser Weise und erhöht den Ton der letzten Gabel von 80 v. s. ab immer mehr und mehr, so gehen wieder die erst einzeln hörbaren Stöfse in ein Rollen und Rasseln über, welches über die Quinte (20 St.) hinaus fortdauert. Bei 144 v. s., wo es durch 32 untere und 8 obere Stöfse gebildet wird, fangen diese letzteren schon an bemerkbar zu werden. Bei 148 v. s. ($m = 34$, $m' = 6$) und bei 150 v. s. ($m = 35$, $m' = 5$) hört man dann ganz deutlich neben dem Rasseln der 34 und 35 unteren Stöfse, auch die 6 und 5 oberen Stöfse. Man kann sich einen sehr guten Begriff davon machen wie dieses klingt, wenn man die Zunge wie beim *R*-Laute vibriren läfst, während man die Luft in schnellen, kräftigen Stöfsen, statt in einem anhaltenden Strome aus dem Munde treibt.

Bei Gelegenheit dieses Experimentes mit der tiefen Contra *E*-Gabel möchte ich beiläufig bemerken, dafs es aufserordentlich schwierig ist, sehr tiefe, einfache Töne von nur einiger Intensität herzustellen. Da mir daran lag, die Stöfse bei Tönen zu untersuchen, die bei möglichst weiten Intervallen nur um eine möglichst kleine absolute Schwingungszahl von einander abstanden, so construirte ich für die Töne der Contraoctave (64 — 188 v. s.) zwei grofse Resonatoren aus Holz, den einen von 40, den andern von 60 Ctm. Höhe und Breite, und beide von einer Länge von 2 Meter. Sie waren wie die oben beschriebenen Messingresonatoren mit Schraubenstempeln versehen, so dafs sich die Stimmung mit der gröfsten Genauigkeit herstellen liefs, auch konnte an ihnen die Oeffnung nach Belieben verkleinert oder vergröfsert werden, aber die Wirkung, welche ich durch sie in Verbindung mit den mächtigen Gabeln erhielt, war dennoch so gering, dafs ich bei der Wahl eines dieser tiefen Töne zum Grundton, an Intensität mehr verloren hätte, als mir die geringere Schwingungszahl nützlich gewesen wäre.

Erweitert man das Intervall der Octave 128 : 256 v. s., zu dem wir bis jetzt gekommen waren, indem man den Grundton *C* beibehält, den zweiten Ton aber, von der Octave ausgehend wieder, immer mehr und mehr erhöht, so entstehen sofort wieder die einzelnen hörbaren Stöfse, welche, wenn sie bei 276 bis 280 v. s. die Zahl von 10 bis 12 erreicht haben, in ein einfaches Rollen übergehen, das sich etwa bei 296 v. s. (20 St.) in ein verworrenes Rasseln verwandelt. Dieses Rasseln wird schnell schwächer und zwischen *e* und *f*, etwa bei 332 bis 336 v. s., läfst der Zusammenklang der beiden Töne eine blofse Rauhigkeit vernehmen, aus der aber schon bei 344 v. s. ein wieder deutlicheres, schnelles Rollen hervortritt, welches sich bald verlangsamt um bei 360 bis 364 v. s. 12 bis 10 Stöfse einzeln vernehmen zu lassen, die denn bei 368, 372, 376 und 380 v. s. zu 8, 6, 4 und 2 werden, und bei $g = 384$ v. s. (1 : 3) verschwinden.

Die Zahl der in der Nähe der Octave hörbaren Stöfse ist gleich der Differenz der Doppelschwingungen des höheren Tones und der Octave des Grundtones, und die Zahl der Stöfse in der Nähe der Duodecime gleich der Differenz der Doppelschwingungen des höheren Tones und der Duodecime des Grundtones.

Der Vorgang bei den hier beobachteten Intervallen dieser zweiten Periode von $n:2n$ bis $n:3n$ ist also ganz derselbe, welchen wir bei den Intervallen der ersten Periode von $n:n$ bis $n:2n$ beobachtet haben. Jedes Intervall $n:2n+m$ oder $3n-m'$ erzeugt wieder zwei Arten von Stöfsen, die gleich m und gleich m' sind; ist m viel kleiner als $\frac{n}{2}$, so hört man nur die unteren Stöfse, ist m viel gröfser als $\frac{n}{2}$, so sind nur die oberen vernehmbar, und ist m nahezu gleich $\frac{n}{2}$, so existiren beide Arten Stöfse zusammen. In dieser Periode ist $m = \frac{n}{2}$ bei dem Intervalle $2:5$ ($e = 320$ v. s.).

Die Stöfse eines Intervalles $n:2n+m$ sind also gleich denen des Intervalles $n:n+m$.

Auch in dieser Periode sind die oberen Stöfse wieder schwächer als die unteren, und die unteren wie oberen sind schwächer, als die entsprechenden Stöfse der ersten Periode.

Die nächst höhere Periode erstreckt sich von $C:g$ bis $C:c'$, $n:3n$ bis $n:4n$, und ihre Mitte, in der $m = \frac{n}{2}$, ist bei dem Verhältnifs $2:7$ ($128:448$ v. s.). Man findet in derselben wieder den gleichen Vorgang wie in den ersten beiden Perioden, nur kann man die Stöfse beider Arten, da sie wieder schwächer geworden sind als in der vorhergehenden Periode, nicht mehr ganz so weit verfolgen. Erhöht man wieder, von g (384 v. s.) ausgehend, den zweiten Ton mehr und mehr, so gehen die erst einzeln hörbaren Stöfse bei 404 v. s. (10 St.) in ein Rollen über, welches bei 420 v. s. zu einem verworrenen, schwachen Gerassel wird.

Dieses geht bis etwa 456 v. s. in eine bloſse Rauhigkeit über, aus der erst bei 480 bis 484 v. s. (16 bis 14 St.), ein wieder deutlicheres Rollen hervortritt, welches sich bis 492 v. s. zu 10 einzeln hörbaren Stöſsen verlangsamt, die immer geringer an Zahl, bei c' (512 v. s.), der Doppeloctave, ganz verschwinden.

Die Stöſse eines Intervalles $n:3n+m$ oder $4n-m'$, sind wieder gleich m und m'.

In der Periode von $C:c'$ bis $C:e'$, von $n:4n$ bis $n:5n$, lassen sich die Stöſse noch weniger weit verfolgen. Wenn die unteren Stöſse in der Zahl von 8 bis 10, in ein Rollen übergegangen sind, so wird dieses bis 552 v. s. (20 St.) schon so schwach, daſs es nur noch eine bloſse Rauhigkeit bildet. Bei 560 (24 St.) ist auch diese nicht mehr wahrnehmbar und die beiden Töne bilden von hier ab einen reinen Zusammenklang. Erst bei 616 v. s. tritt das Rollen von 12 Stöſsen wieder aus dem reinen Zusammenklange hervor, welches dann in die einzelnen hörbaren Stöſse m' übergeht, die bei $1:5$ (128 : 640 v. s.) verschwinden.

In der Periode $C:e'$ bis $C:g'$, $n:5n$ bis $n:6n$, sind die unteren Stöſse nur noch bis etwa 10 deutlich und verschwinden schon bei 664 v. s. (12 St.). Die oberen Stöſse werden bei 748 v. s. schwach vernehmbar und sind erst bei 752 v. s. (8 St.) einzeln ganz deutlich.

In der Periode von $C:g'$ bis $C:896$ v. s., von $n:6n$ bis $n:7n$, sind die unteren Stöſse nur bis 780 v. s. (6 St.) ganz deutlich und verschwinden schon bei 784 v. s. Die oberen Stöſse werden bei 884 v. s. in der Zahl von 6 schwach hörbar und sind erst bei 888 v. s., 4 an der Zahl, ganz deutlich.

In der Periode von $C:896$ v. s. bis $C:c''$, $n:7n$ bis $n:8n$, kann man die unteren Stöſse noch bis vier, bei 904 v. s. deutlich hören. Sie verschwinden schon bei 908 v. s., sechs an der Zahl. Vier obere Stöſse werden bei 1004 v. s. vernehmbar. Die zwei Stöſse bei 1008 v. s. sind ganz deutlich.

Es ist mir gelungen mitunter noch einige Stöſse bei den Verhältnissen $C:d''$ und selbst $C:e''$ (1 : 9 und 1 : 10) wahrzunehmen, sie waren aber sehr schwach und können jedenfalls nicht von jedem einfach gesunden und nicht besonders geübten Ohr, wie alle bisher beschriebenen, wahrgenommen werden.

Man hat bis jetzt angenommen, daſs Stöſse nur durch zwei dem Einklange nahe Töne direct erzeugt werden könnten und daſs die Stöſse aller weiteren Intervalle mit Hülfe resultirender Töne erzeugt würden. Hiernach müssten also bei den Intervallen $C:c''$ — 2 v. d., welches, wie wir gesehen haben, deutlich zwei Stöſse hören läſst, diese Stöſse in folgender Weise entstanden seyn:

c'' — 2 v. d.	mit	$C\,(8n-2$	mit	$n)$	hätte	bilden	müssen	892 v. s. $(7n-2)$
892 v. s.	„	$C\,(7n-2$	„	$n)$	„	„	„	g' — 2 v. d. $(6n-2)$
g' — 2 v. d.	„	$C\,(6n-2$	„	$n)$	„	„	„	e' — 2 v. d. $(5n-2)$
e' — 2 v. d.	„	$C\,(5n-2$	„	$n)$	„	„	„	c' — 2 v. d. $(4n-2)$
c' — 2 v. d.	„	$C\,(4n-2$	„	$n)$	„	„	„	g — 2 v. d. $(3n-2)$
g — 2 v. d.	„	$C\,(3n-2$	„	$n)$	„	„	„	c — 2 v. d. $(2n-2)$
c — 2 v. d.	„	$C\,(2n-2$	„	$n)$	„	„	„	C — 2 v. d. $(n-2)$
C — 2 v. d.	„	$C\,(n-2$	„	$n)$	„	„	„	zwei Stöſse.

Von allen diesen Zwischentönen habe ich keine Spur entdecken können und auſserdem hat der Ton c'' — 2 v. d. (1020 v. s.) eine verhältniſsmäſsig so geringe Intensität, wenn seine Stöſse mit dem groſsen C am deutlichsten hörbar sind, daſs es geradezu unmöglich scheint, er solle irgend welchen, auch nur im Geringsten wirksamen Combinationston in Verbindung mit anderen Tönen hervorbingen können, und noch unerklärlicher möchte es seyn, daſs er der Ursprung einer ganzen Reihe von Combinationstönen würde. Es ist daher weit natürlicher, die Stöſse der harmonischen Intervalle wie die des Einklanges, direct aus der Composition der Tonwellen abzuleiten und anzunehmen, daſs sie aus den periodisch abwechselnden Coincidenzen der gleichartigen Maxima der Töne n und n', und der Maxima, welche entgegengesetzte Zeichen haben, entstehen. Die gleichartigen Maxima werden bei den Stöſsen dieser

harmonischen Intervalle, wie bei denen des Einklanges, entweder genau zusammenfallen, oder es werden Compressionsmaxima des höheren Tones bei zwei aufeinanderfolgenden Schwingungen des Grundtones, um ein Geringes dem Compressionsmaximum der ersten Schwingung vorhergehen und dem der zweiten folgen, so dafs die Mitte der Schwebung zwischen diesen liegt, in beiden Fällen wird aber die Wirkung auf das Ohr ganz dieselbe seyn, da eine Schwebung keine momentane Erscheinung ist, sondern aus dem allmäligen Anschwellen und Abnehmen der Tonintensität entsteht. Um eine klarere Ansicht von dem Schwingungsvorgange bei den Stöfsen dieser harmonischen Intervalle zu geben, habe ich die schriftliche Composition der Schwingungen für die Intervalle $n:hn$ und $n:hn+y$ ($h=1, 2, \ldots 8$) mit meinem bekannten Apparate ausgeführt, bei welchem, nach der von Lissajous und Desains zuerst angewandten Methode, von den beiden Stimmgabeln, deren Schwingungen componirt werden sollen, die eine die beräucherte Glasplatte trägt, welche mit ihr mitvibrirt, und die andere den Schreibstift, welcher auf dieser Glasplatte die Figuren verzeichnet (Taf. IV).

Wenn man nun den allgemeinen Charakter dieser Figuren ins Auge fafst, so findet man, dafs die Stöfse der ungeraden Intervalle 1 : 3, 1 : 5 und 1 : 7 ebenso wie die Stöfse des Einklanges durch periodische Maxima und Minima der Schwingungsweite angezeigt sind, welche sehr wohl ihre directe Hörbarkeit erklären können. Bei den geraden Intervallen 1 : 2, 1 : 4, 1 : 6 und 1 : 8 wieder, wechselt immer ein Maximum der Compression mit einem Maximum der Dilatation, wie dieses bei gewöhnlichen Tonwellen der Fall ist, es läfst sich daher jede ganze Periode gleichsam wie eine einzige zusammengesetzte Luftwelle betrachten, und dafs derartige Luftwellen sollen einzeln wie Stöfse empfunden werden können, hat nichts Auffallendes, da die Töne der grofsen Orgelpfeifen der 32-füfsigen Octave sehr wohl wie einzelne Luftstöfse gehört werden und man auch die Empfindung einer Reihe Stöfse empfängt, wenn man

das Ohr den Zinken einer grofsen Stimmgabel nähert, welche unter 32 v. d. giebt.

Eine Eigenthümlichkeit der Stöfse harmonischer Intervalle besteht noch darin, dafs die beiden primären Töne abwechselnd hervortreten. Läfst man neben dem starken, grofsen *C* das nur um einen geringen Theil einer Schwingung verstimmte kleine *c* ertönen, so dafs sich sehr langsame Stöfse bilden, so hört man abwechselnd einmal den Grundton und einmal die Octave so deutlich hervortreten, dafs man, wenn das kleine *c* sehr stark ist, mitunter geneigt seyn könnte, jede Schwebung doppelt zu zählen. Ist das kleine *c* dagegen schwach, so hört man nur den Grundton abwechselnd stärker und schwächer werden. Ganz dieselbe Beobachtung habe ich auch bei den sehr langsamen Stöfsen der Duodecime und der Doppeloctave, $C:g$ und $C:c'$ machen können, aber bei nur einigermaafsen schnellen Schwebungen läfst sich das periodische Hervortreten des höheren Tones nicht mehr wahrnehmen.

Auch diese Erscheinungen dürften sich leichter aus den Figuren der Stöfse dieser Intervalle erklären lassen, als aus der Annahme resultirender Zwischentöne, welche man nicht hören kann. Bei den Stöfsen der Octave und Duodecime (Taf. IV) tritt bei *a* der Grundton allein hervor, und läfst sich bei *b* der höhere Ton vernehmen.

B. Intervalle mit dem Grundtone $c = 256$ v. s.

Bildet man die verschiedenen Intervalle vom Einklange bis zur dritten Octave mit dem kleinen $c = 256$ v. s. als Grundton, so kann man die Stöfse in den verschiedenen Perioden nicht mehr, wegen ihrer doppelt grofsen Anzahl, bei ganz so weiten Intervallen beobachten, als sich dieses mit dem Grundtone *C* thun liefs.

Die erst einzeln hörbaren Stöfse gehen bei der Secunde in ein einfaches Rollen, bei der Terz in ein verworrenes Rasseln über, welches über die Quarte hinaus schon schwach wird. Zwischen der Quinte und Sexte bilden die Töne einen rauhen Zusammenklang, aus dem zwischen der Sexte und Septime ein deutlicheres Rollen

hervorzutreten anfängt, welches bei der Septime in einzeln vernehmbare, und bei 496 v. s. (8 St.) in einzeln zählbare Stöfse übergeht, die bei der Octave $c:c'$ verschwinden.

In der zweiten Periode $c:c'$ bis $c:g'$ ist schon bei 584 v. s. nur noch eine Rauhigkeit wahrzunehmen, und bei 608 v. s. bilden die beiden Töne bereits einen ganz ungestörten Zusammenklang, der erst bei 704 v. s. wieder rauh wird, und bei 720 v. s. in ein Rollen übergeht, welches sich darauf in die einzelnen Stöfse auflöst, die bei der Duodecime $c:g'$ (1 : 3) verschwinden.

In der dritten Periode von $c:g'$ bis $c:c''$ verschwinden die letzten Spuren der durch die zahlreich werdenden unteren Stöfse hervorgerufenen Rauhigkeit schon bei 820 v. s. Die beiden Töne bilden von da ab bis zu 976 v. s. einen ungestörten Zusammenklang, der bei 984 v. s. (20 St. m') rauh wird, und darauf wieder die einzelnen Stöfse hören läfst, welche bei der Doppeloctave $c:c''$ (1 : 4) verschwinden.

Ueber die Doppeloctave hinaus kann man unter und über dem Intervall $c:e''$ (1 : 5) die oberen Stöfse der vierten, und die unteren Stöfse der fünften Periode bis etwa 12 an der Zahl beobachten. Unter und über $c:g''$ (1 : 6) vernimmt man bis etwa 8 Stöfse, und beim gestörten Zusammenklange C : 1792 v. s. (1 : 7) bis etwas sechs. Die gestörte dreifache Octave $c:c'''$ (1 : 8) läfst noch deutlich 4 Stöfse hören, die 2 bis 3 vernehmbaren Stöfse bei $c:d'''$ (1:9) sind aber schon sehr schwach.

Obgleich die unteren wie auch die oberen Stöfse bei dem Intervalle mit dem Grundtone c, welches die Mitte jeder Periode bildet, schon die Zahl 64 erreichen, so ist doch selbst in der ersten Periode bei der Quinte $c:g$ ein grofses C nur sehr schwach vernehmbar. Läfst man zu dem erst allein tönenden c plötzlich g hinzutreten, so klingt es als hätte der Grundton nur einen tieferen Charakter bekommen.

C. Intervalle mit dem Grundton $c' = 512$ v. s.

Bildet man mit dem Grundtone $C' = 512$ v. s. Inter-

valle, welche vom Einklange aus immer weiter und weiter werden, so zeigen dieselben folgende Erscheinungen.

Die erst einzeln hörbaren unteren Stöfse gehen schon, ehe die Secunde erreicht ist, in ein Rasseln über, welches bis zur Terz (64 St.) zu einer blofsen Rauhigkeit wird. Zugleich hört man ein schwaches grofses *C*. Bis zur Quinte steigt dieser Ton bis zum kleinen *c* (128 St.), während von der Rauhigkeit des Zusammenklanges schon von etwa 720 bis 736 v. s. ab nichts mehr zu spüren ist. Von 768 bis 896 v. s. (128 bis 192 St.) steigt der Ton *c* bis *g* und ist auffallend stark im Verhältnifs zu der Intensität, welche er von *C* bis *c* (64 bis 128 St.) hatte. Es scheint also, dafs das, was die einzelnen Impulse *m* bei diesen weiteren Intervallen an Intensität verloren haben, durch ihre gröfsere Zahl in Bezug auf die Intensität des Tones, welchen sie bilden, reichlich ersetzt worden ist. Der durch die oberen Stöfse *m'* erzeugte Ton läfst sich schon von der Terz ab (192 St.), bis zur Quinte (128 St.), während er von *g* zu *c* sinkt, vermittelst der Stöfse von Hülfsgabeln nachweisen, wenn er auch sonst kaum hörbar ist. Von 808 bis 896 v. s. (108 bis 64 St. *m'*), wird er so schwach, dafs er selbst mit den Hülfsgabeln kaum mehr 'nachgewiesen werden kann. Es scheint demnach, dafs die Zunahme der Intensität der einzelnen Impulse *m'*, welche durch die Verringerung ihrer Anzahl bewirkt wird, nicht die Gröfse erreicht, welche nöthig wäre, um den tiefer gewordenen Ton mit derselben Intensität zu bilden, welche er hatte, als er höher war.

Gegen 944 v. s. (40 St. *m'*) tritt Rauhigkeit ein, welche bei 976 v. s. in das Rollen übergeht, das sich dann in einzelne Stöfse auflöst, die bei der Octave $c' : c''$ verschwinden.

Die unteren Stöfse der zweiten Periode von $c' : c''$ bis $c' : g''$ (1 : 2 bis 1 : 3), sind schon bei 20 nur noch als Rauhigkeit zu vernehmen, und ebenso fangen die oberen Stöfse etwa bei 18 an sich durch die Rauhigkeit des Zusammenklanges bemerkbar zu machen.

Die Stöfse *m* der dritten Periode von $c':g''$ bis $c':c'''$, kann man bis etwa 16, die Stöfse *m'* bis etwa 10 hören. (Diese beiden Bestimmungen habe ich mit Stimmgabeln aus meinem Tonometer gemacht, welche auf der Liste der Stimmgabeln, die ich in der Einleitung gegeben, nicht erwähnt sind.)

Die Stöfse unter und über dem Intervalle $c':e'''$ (1 : 5), sind bis etwa 5 gut hörbar, und bei dem gestörten Intervalle $c':g'''$ (1 : 6) kann man noch 2 bis 3 wahrnehmen.

Die Stofstöne, welche schon in der ersten Periode äusserst schwach waren, sind in den höheren nicht mehr direct wahrnehmbar.

D. Intervalle mit dem Grundtone $c'' = 1024$ v. s.

Bei den Intervallen mit dem Grundtone c'', sind die unteren und oberen Stöfse als solche nur noch ganz in der Nähe des Einklanges und der harmonischen Intervalle zu vernehmen, sie gehen wegen ihrer grofsen Zahl in Töne über, welche für die verschiedenen Intervalle in folgender Weise gehört werden:

Bei der Secunde $c'':d''$ ist der Ton *m* (64 St.), das grofse *C*, gut vernehmbar, bei der Terz $c'':e''$, ist er bis zum kleinen *c* (128 St.) gestiegen und noch lauter. Bei der Quarte kommt zum Stofston *m* (170,6 St.), *f*, noch der Stofston *m'* (341,3 St.), *f'*, hinzu. Diese beiden Töne verschmelzen, wenn die Quarte ganz rein ist, zu einem Klange, der bald wie *f*, bald wie *f'* zu klingen scheint. — Die Töne *m* und *m'* werden einander gleich bei der Quinte $c'':g''$, welche daher sehr laut *c'* hören läfst. Bei der Sexte ist der untere Ton *m* bis zu *f'* gestiegen, und der Ton *m'* bis zu *f* gesunken. Diese beiden Töne sind stärker und verschmelzen auch nicht so innig miteinander als bei der Quarte. Entfernt man bei immer gleicher Intensität des Grundtones die Gabel a'' etwas weiter vom Ohre, so hört man *f* stärker, bringt man sie näher, so tritt *f'* deutlicher hervor. — Das Intervall $c'':1792$ v. s. (4 : 7) läfst die beiden Töne $m = g'$ und $m' = e$, fast gleich stark hören.

Bei der Septime vernimmt man Nichts mehr von dem unteren Tone, und $m' = 64$ St. bildet ein bloſses Gerassel, eine Rauhigkeit aus der das groſse C nicht herauszuhören ist.

Ueber die Octave hinaus läſst $c' : d'''$ (4 : 9) den Ton $m = 128$ St., das kleine c leise hören, ebenso das Intervall $c'' : 2389{,}3$ v. s. (3 : 7), den Ton f. — Bei $c'' : e'''$ (2 : 5), wo $m = m' = 256$ St., ist c' sehr deutlich, über diese Gränze hinaus lassen sich jedoch weiter keine Stoſstöne mehr bemerken, nur treten noch unter und über der Duodecime $c'' : g'''$ deutliche, und bei der Doppeloctave einige sehr schwache Stöſse hervor.

E. Intervalle mit dem Grundton $c''' = 2048$ v. s.

Nehmen wir jetzt c''' zum Grundton der Intervalle, so kommen wir damit in diejenige Gegend der Skala, welche für die Beobachtung der Stoſstöne ebenso geeignet ist, als die tiefsten Octaven für die Untersuchung der einzelnen noch nicht zu einem Tone verschmolzenen Stöſse waren.

Die Stoſstöne der ersten Periode lassen sich in folgender Weise hören. Der Ton c''' giebt mit

	Intervall	m	m',	
d'''	8 : 9	c	…	m ist allein und gut vernehmbar,
2389,3 v. s.	6 : 7	f	…	m ist allein und gut hörbar,
e'''	4 : 5	c'	g''	m ist lauter, m' schwächer als m,
f'''	3 : 4	f'	f''	m und m' verschmelzen zu einem Klange,
2816 v. s.	8 : 11	g'	e''	m und m' sind gleich laut,
g'''	2 : 3	c''	e''	$m = m'$, der Ton ist sehr stark,
3328 v. s.	8 : 13	e''	g'	m und m' gleich stark und deutlich,
a'''	3 : 5	f''	f'	m und m' stärker als bei der Quarte und auch einzeln hörbar,
3584 v. s.	4 : 7	g''	c'	m und m' etwa gleich stark und deutlich,
h'''	8 : 15	…	c	m ganz unhörbar, m' hörbar und deutlich.

In der zweiten Periode von $c''' : c^{IV}$ bis $c''' : g^{IV}$ hört man die Stoſstöne folgendermaſsen:

c''' mit	Intervall	m	m'	
d^{IV}	4 : 9	c'	g''	m deutlich hörbar, m' kaum vernehmbar,
e^{IV}	2 : 5	c''	c'	$m = m'$, laut hörbar,
f^{IV}	3 : 8	f''	f'	m und m' ungefähr gleich stark,
5632 v. s.	4 : 11	g''	c'	m sehr schwach, m' stärker als m hörbar,
Dritte Periode von $c''' : g^{IV}$ bis $c''' : c^{V}$:				
6656 v. s.	4 : 13	c'	...	m allein hörbar,
a^{IV}	3 : 10	f'	f''	m verschmilzt mit m',
7168 v. s.	2 : 7	c''	c''	$m = m'$, deutlich,
h^{IV}	4 : 15	...	c'	m' allein hörbar,
7936 v. s.	8 : 31	...	c	m' allein hörbar.

F. Intervalle mit dem Grundton $c^{IV} = 4096$ v. s.

Die Intervalle schliefslich mit dem Grundton c^{IV} lassen folgende Töne hören:

c^{IV} mit	Intervalle	m	m'	
d^{IV}	8 : 9	c'	...	m ist laut vernehmbar,
e^{IV}	4 : 5	c''	...	m ist laut,
f^{IV}	3 : 4	f''	...	m ist ebenfalls laut,
5632 v. s.	8 : 11	g''	e'''	m und m' laut,
g^{IV}	2 : 3	c'''	c'''	$m = m'$, ganz laut,
6656 v. s.	8 : 13	e'''	g''	m und m' beide hörbar,
a^{IV}	3 : 5	f'''	f''	m und m' hörbar,
7168 v. s.	4 : 7	g'''	c''	m hörbar, m' stärker als m,
h^{IV}	8 : 15	...	c'	m ganz unhörbar, m' laut vernehmbar,
7936	16 : 31	...	c	m' allein und laut hörbar,
8064	32 : 63	...	C	m' vernehmbar.

Wenn man nun die ganze Reihe aller hier einzeln angegebenen Beobachtungen mit ihren Resultaten übersieht, so findet man, dafs ihre Gesammtheit folgendes zeigt:

1) Sowohl die unteren Stöfse m, als auch die oberen Stöfse $m' = n - m$ eines Intervalles $n : hn + m$ ($h = 1, 2, 3 ...$), gehen bei hinreichender Anzahl der Stöfse und genügend

starker Intensität der primären Töne, in Stofstöne über, — z. B. die Töne des Verhältnisses 8 : 15, $C:H$, lassen $m' = 8$ Stöfse hören, und die Töne desselben Verhältnisses $c''':h'''$ den Stofston $m' = c$, die Töne $c^{IV}:h^{IV}$ den Stofston c'. Ferner hört man bei den Tönen des Verhältnisses 4 : 15 $(n:3n+m)$, $C:h$ ein deutliches Rollen der 16 oberen Stöfse, und bei den Tönen desselben Verhältnisses $c''':h^{IV}$, den oberen Stofston $m' = c'$.

2) Die Stofstöne in den hohen Octaven und die einzeln hörbaren Stöfse in den tiefen, sind immer gleich den beiden Differenzen der Doppelschwingungen des höheren primären Tones und der beiden ihm nach oben und unten zunächst liegenden Töne der harmonischen Reihe des tieferen primären Tones, und nicht, wie man bis jetzt angenommen hat, einfach gleich der Differenz der Doppelschwingungen der beiden primären Töne. — Z. B. die Töne des Verhältnisses 4 : 9, $c''':d^{IV}$, lassen ganz laut den Stofston $m = 1 = c'$, und keine Spur des Tones $9 - 4 = 5 = e''$ hören. $c''':e^{IV}$ (2 : 5) giebt $m = 1 = c''$ und durchaus nicht g'''. Das Verhältnifs $n:2n+m$, 4 : 11, gebildet von den Tönen 2048 (c''') und 5632 v. s. läfst ferner die Stofstöne $m = 3 = g''$ und $m' = 1 = c'$ wahrnehmen und keine Spur vom Tone 7 = 3584 v. s.

3) Von den Stofstönen der höheren Octaven m und m', wie von den einzeln hörbaren Stöfsen m und m' der tieferen, wird m allein hörbar, wenn m viel kleiner als $\frac{n}{2}$ ist, m' wenn m viel gröfser als $\frac{n}{2}$, und die Coexistenz von m und m' nimmt man wahr, wenn m sich $\frac{n}{2}$ nähert. Z. B. $c^{IV}:d^{IV}$ (8 : 9) läfst nur $m = 1 = c'$ hören, $c^{IV}:h^{IV}$ (3 : 15) nur $m' = 1 = c'$, und bei c^{IV} : 6656 v. s. (8 : 13) hört man sowohl $m = 5 = e'''$, als auch $m' = 3 = g''$.

II. Secundäre Stöfse und Stofstöne.

Im vorigen Abschnitte habe ich gesucht im Zusammenhange die Wirkung der unteren und oberen Stöfse zu schildern, wie sie sich bei den verschiedenen Intervallen

äufsert, wenn dieselben erst von dem tiefsten, dann von immer höheren Tönen, bis zu den höchsten hin, gebildet werden, und um diesen Zusammenhang nicht zu stören, habe ich eine Klasse von Erscheinungen bis jetzt bei Seite gelassen, welche ich nun beschreiben will.

Wir haben oben gesehen, dafs beim Zusammenklange der beiden Töne 80 und 148 v. s. das Rollen der 34 unteren Stöfse m, und die einzeln hörbaren oberen 6 Stöfse m', gesondert vernommen werden konnten, dafs in der Gegend der Quinte $C:G$, aus der Coexistenz dieser beiden Arten Stöfse ein starkes, verworrenes Gerassel entstand, und dafs endlich in den hohen Octaven, ebenfalls bei den Intervallen $n:hn+m$, wenn m nahe $\frac{n}{2}$ war, beide Stofstöne m und m' zugleich beobachtet werden konnten. Diese beiden nebeneinander bestehenden Stofstöne verhalten sich nun wieder ebenso mit einander, als es zwei gleiche, primäre Töne von derselben Intensität thun würden, d. h. sind sie dem Einklange nahe, so lassen sie starke Stöfse hören; bilden sie nahezu das Intervall der Octave, so geben sie ebenfalls Stöfse, welche jedoch schwächer sind, und in gleicher Weise kann auch noch ihre gestörte Duodecime Stöfse hören lassen.

Bei den Intervallen $n:hn+m$ sind die beiden Stofstöne m und m' im Einklange, wenn $m=\frac{n}{2}$, also bei den Intervallen 2 : 3, 2 : 5, 2 : 7. Ist nun $m=\frac{n}{2}+1$, so ist $n-m=\frac{n}{2}-1$, und man erhält zwei Stöfse.

Der obere Stofston m' ist die höhere Octave des unteren Stofstones m, wenn $m=\frac{n}{3}$, also bei den Intervallen 3 : 4, 3 : 7 . . . Ist nun $m=\frac{n}{3}+1$, so ist $n-m=\frac{2n}{3}-1$, und also erhält man $\left(\frac{2n}{3}+2\right)-\left(\frac{2n}{3}-1\right)$ d. h. drei Stöfse.

Der untere Stofston ist die höhere Octave des oberen Stofstones, wenn $m=\frac{2n}{3}$, also bei den Intervallen 3 : 5,

3 : 8 . . . Ist nun $m = \frac{2n}{3} + 1$, so ist $n - m = \frac{n}{3} - 1$ und man erhält wieder $\left(\frac{2n}{3} + 1\right) - \left(\frac{2n}{3} - 2\right)$, d. h. drei Stöſse.

Die Stoſstöne m und m' bilden mit einander die Duodecime wenn $m = \frac{n}{4}$, bei den Intervallen 4 : 5, 4 : 9, und wenn $m = \frac{3}{4}$, bei den Intervallen 4 : 7, 4 : 11. Ist $m = \frac{n}{4} + 1$, so ist $m' = \frac{3n}{4} - 1$ und man erhält $\left(\frac{3n}{4} + 3\right) - \left(\frac{3n}{4} - 1\right)$, d. h. vier Stöſse; ist $m = \frac{3n}{4} + 1$, so ist $m' = \frac{n}{4} - 1$ und man erhält wieder $\left(\frac{3n}{4} - 3\right) - \left(\frac{3n}{4} + 1\right)$, d. h. vier Stöſse.

Im Allgemeinen also, wenn der höhere Ton von der Reinheit der Intervalle um eine Doppelschwingung abweicht, so entstehen bei den Intervallen 2 : 3, 2 : 5, 2 : 7 zwei, bei den Intervallen 3 : 4, 3 : 7 . . . und 3 : 5, 3 : 8 . . . drei, und endlich bei den Intervallen 4 : 5, 4 : 9 . . . und 4 : 7, 4 : 11 vier Stöſse.

Von allen diesen secundären, durch Stoſstöne entstandenen Stöſsen, konnte ich bei Anwendung der mir zu Gebote stehenden starken Töne direct folgende beobachten.

In der Nähe der Quinte Contra *E* und Contra *H*, bei welcher die primären Töne ein lautes Rasseln bilden, werden nur ein bis zwei secundäre Stöſse hörbar, bei der Quinte Contra *G* : *D* (96 : 144 v. s.), bei welcher die primären Stöſse ebenfalls noch ein lautes Rasseln bilden, wo sie aber wegen der gröſseren Intensität der primären Töne weit stärker sind, kann man die secundären Stöſse bis 8, und über der Quinte selbst bis 10 verfolgen. Sie sind nämlich über der Quinte deutlicher, was auch in den höheren Lagen der Fall ist und sich dadurch erklärt, daſs in dieser Gegend die Intensitäten der unteren und oberen Stöſse mehr gleich seyn müssen, da die an sich, bei gleicher Anzahl immer schwächeren oberen Stöſse m', hier noch nicht so zahlreich geworden sind, als die unteren

Stöſse *m*, wogegen unter der Quinte das Gegentheil stattfindet.

Bei gleicher Intensität des Grundtones treten hier die secundären Stöſse am deutlichsten hervor, wenn der höhere Ton etwas schwächer ist, während das Rasseln der primären Stöſse am lautesten, wenn der höhere Ton stärker ist.

Bei den Intervallen mit dem Grundton *C* habe ich die secundären Stöſse nur beim gestörten Einklange von *m* und *m'* beobachten können, da aber bis in die dritte Periode. Man kann sie bei *C* : *G* (2 ; 3), bis etwa 6 oder 8 und bei *C* : *e* (2 : 5), bis etwa 5 oder 6 verfolgen. Bei 2 : 7 hört man noch 2 bis 3.

Bei den Intervallen Contra *E* : Contra *H*, Contra *G* : *D* und *C* : *G* klingen die secundären Stöſse verbunden mit dem lauten Rasseln der primären Stöſse etwa ebenso, wie ich oben den Zusammenklang 80 : 144 v. s. geschildert habe. Bei *C* : *e* jedoch, wo das Rasseln der primären Stöſse schon weit schwächer ist, tritt dasselbe vor den secundären Stöſsen zurück und ein Gleiches findet auch bei der Quinte *c* : *g* statt.

Bei den Intervallen mit dem Grundtone *c* läſst sich das ganze System der secundären Stöſse sehr vollständig beobachten. Man hörte nicht allein die Stöſse des Einklanges der Stoſstöne zahlreich und deutlich bei dem Intervalle 2 : 3, wo man sie sogar verfolgen kann, bis sie in ein Rasseln von 12 bis 16 übergehen, bei 2 : 5, 2 : 7 und selbst noch bei 2 : 9 bis zu etwa vieren, sondern auch die der Octave von *m* und *m'* gebildet, bei 3 : 4, 3 : 5 bis zu etwa 6 oder 8, bei 3 : 7 und 3 : 8, die ersten schwächer als die letzteren, bis etwa 4, und bei 3 : 11 in der dritten Periode, bis 3 oder 4. Die Stöſse der Duodecime von *m* und *m'* werden nur in der ersten Periode bei den Intervallen 4 : 5 und 4 : 7 vernehmbar und lassen sich nur bis zu 3 oder 4 verfolgen.

Bei den Intervallen mit dem Grundtone *c'* sind die Schwingungen meiner Gabeln zum Theil etwas ungünsti-

ger, als bei den eben erwähnten mit dem Grundtone c, es wurden daher nur wirklich ganz deutlich hörbar die secundären Stöfse beim Einklange der Stofstöne m und m' in den ersten drei Perioden, also bei den Intervallen 2 : 3, 2 : 5 und 2 : 7, und wenn sie miteinander die Octave bildeten in der ersten Periode allein, bei 3 : 4 und 3 : 5.

In der ersten Periode der Intervalle mit dem Grundtone c'' kann man die secundären Stöfse bei allen Intervallen wahrnehmen, bei denen die Stofstöne zu einander in den Verhältnissen 1 : 1, 1 : 2 und 1 : 3 stehen, in der zweiten Periode sind jedoch nur noch bei 2 : 5 einige Stöfse gut und bei 3 : 7 sehr schwach zu vernehmen.

Die Intervalle mit dem Grundtone c''' werden in der ersten Periode durch eine starke Gabel für den Grundton, und schwächere Gabeln für die höheren Töne gebildet; hier hört man die secundären Stöfse nur bei 2 : 3 und ferner bei 3 : 4 und 3 : 5 deutlich. Ueber die Octave hinaus aber, mit den starken Gabeln der Octave c^{IV} bis c^{V}, hört man noch die Stöfse der Stofstöne nicht nur bei 2 : 5 und 2 : 7 und bei 3 : 8, sondern auch selbst bei 4 : 9.

Die Beobachtungen bei allen diesen aus so sehr hohen und starken Tönen gebildeten Intervallen, werden schon äufserst angreifend für die Ohren, und noch mehr ist dieses bei den Intervallen der Octave von c^{IV} bis c^{V} der Fall, dennoch ist es mir gelungen, aufser den secundären Stöfsen der Quinte und der Quarte und Sexte, auch noch die der Terz und des Verhältnisses 4 : 7 wahrzunehmen. Die aufserordentlich grofse Intensität der Töne meiner Gabeln für diese Octave bewies sich aber ganz besonders bei den Intervallen 8 : 11 und 8 : 13 als höchst werthvoll.

Wie ich oben schon angegeben, läfst der Zusammenklang von 4096 (c^{IV}) und 5632 v. s. (8 : 11), ganz laut $m = 768$ Stöfse (g'') und $m' = 1280$ Stöfse (e''') hören, aufserdem vernimmt man aber auch noch ein ganz deutliches c'', welches $= 512$ v. d., d. h. $= 1280 - 768$ v. d. ist, und ganz dasselbe Resultat erhält man beim Zusammenklange von 4096 und 6656 v. s. (8 : 13), bei welchem

$m = 1280$ und $m' = 768$ Stöfsen ist. Der Ton c'' läfst sich auch hier wieder ganz deutlich vernehmen, so dafs also die secundären Stöfse, bei genügender Zahl und hinreichender Stärke, wie die primären Stöfse in einen Ton übergehen können.

Ich habe die secundären Stofstöne nur in diesen beiden Fällen, da aber ganz laut und deutlich, beobachtet. In der tieferen Octave, in welcher dieselben Intervalle die gut hörbaren Stofstöne g' und e'' erzeugen, sind diese, wegen der weit schwächeren primären Töne, doch nicht stark genug um das c', welches entstehen müfste, hören zu lassen.

Was die Beobachtung der secundären Stöfse im Allgemeinen betrifft, so ist zu bemerken, dafs je schwächer sie sind, um so weniger dürfen sie eine gewisse Anzahl überschreiten, wenn sie gut vernommen werden sollen, man mufs daher nie vergessen, wenn man den höheren primären Ton verstimmt, um sie hervortreten zu lassen, dafs die Verstimmung dieses Tones um eine Doppelschwingung stets 2, 3 oder 4 secundäre Stöfse hervorruft. So darf man z. B. beim Intervalle $c : e$ diesen letzten Ton nur höchstens um eine Doppelschwingung verstimmen, wenn die secundären Stöfse deutlich vernehmbar seyn sollen, sonst hört man von denselben Nichts mehr, wenigstens habe ich bei diesem Zusammenklange sie zahlreicher als vier nicht vernommen.

Beim Zusammenklange von c^{IV} und e^{IV} werden die secundären Stöfse ebenfalls am deutlichsten gehört, wenn sie etwa vier an der Zahl sind. Meine Gabel e^{IV} wiegt ungefähr 560 Gramm, und schon eine kleine Wachsmasse von nur etwa einem Decigramm am Ende der einen ihrer Zinken angeklebt, bringt die Verstimmung um eine Doppelschwingung hervor, bei welcher dann die vier secundären Stöfse gehört werden. Aus diesem Beispiele ersieht man, wie leicht in vielen Fällen die Existenz der secundären Stöfse nur darum nicht wahrgenommen werden kann,

weil das Intervall der beiden primären Töne zu sehr verstimmt ist.

Ich habe schon bei Gelegenheit der Stöfse rein harmonischer Intervalle bemerkt, dafs man bis jetzt alle Stöfse weiterer Intervalle auf Stöfse zweier dem Einklange naher Töne zurückgeführt hat. Man setzte voraus, dafs der erste Differenzton der primären Töne mit diesen primären Tönen selbst wieder Differenztöne gäbe, diese wieder neue mit den primären Tönen und dem ersten Differenztone, und so ging man weiter, bis man auf zwei dem Einklange nahe Töne gekommen war, die dann miteinander schlagen sollten. Man nehme also z. B. an, dafs bei der gestörten grofsen Terz $4n : 5n + x$ zum Vorschein käme:

$$
\begin{array}{llll}
5n+x-4n=n+x & & & \\
 & 4n-(n+x)=3n-x & & \\
5n+x & & -(3n-x)=2n+2x & \\
 & 4n & & -(2n+2x)=2n-2x,
\end{array}
$$

wo dann $2n + 2x$ mit $2n - 2x$, $4x$ Stöfse hören liefsen. Man kommt durch dieses Verfahren auch immer auf die wahre Zahl der Stöfse, man ist aber gezwungen bei demselben stets die Existenz von Tönen vorauszusetzen, welche nicht nur selbst nicht gehört werden, sondern oft auch noch gar von Tönen erzeugt seyen und andere erzeugen sollen, die alle ebenfalls unhörbar sind. In dem hier angegebenen Beispiele erzeugt $5n + x$ und $4n$ den Stofston $n + x$ von einer gewissen Intensität, läfst man nun einen primären Ton $n + x$ von etwa gleicher Intensität mit dem primären Ton $4n$ allein zusammenklingen, so wird man nur $4x$ Stöfse hören, keineswegs aber einen Ton $3n - x$ von solcher Intensität, dafs er bei neuen Combinationen wieder noch neue Töne hervorzubringen im Stande seyn könnte. Dieser Ton $3n - x$ würde dazu, nach der Analogie mit anderen Fällen zu schliefsen, schon nicht mehr stark genug seyn, wenn er ein Stofston wäre, er ist jedoch aus $n + x$ und $4n$ entstanden, also nur ein Differenzton,

und wie sehr die Differenztöne und Summationstöne an Intensität den Stofstönen nachstehen, werden wir weiter unten in dem diese Töne behandelnden Abschnitte sehen.

Wie wenig annehmbar die Erklärung der Stöfse weiter Intervallen durch die Combinationstöne ist, springt noch mehr in die Augen, wenn man statt eines Intervalles der ersten Periode, einen Zusammenklang der zweiten oder dritten untersucht. Wir haben oben gesehen, dafs sich deutliche, secundäre Stöfse bei dem Verhältnisse 2 : 7 hören lassen. Ist es mit dem Grundtone c''' gebildet, so sind beide Stofstöne m und $m' = c''$ und dieses c'' hört man laut und deutlich. Sind bei geringer Verstimmung des Intervalles 2 : 7, m und m' nicht mehr im reinen Einklange, so schlagen sie ganz in derselben Weise miteinander als es zwei um eine gleiche Differenz verstimmte primäre Töne c'' von derselben Intensität thun, und man hat durchaus keine weiteren unhörbaren Töne zur Erklärung dieser Erscheinung nöthig; nach der alten Ansicht wäre aber:

$$7n+x-2n(c''')=5n+x(e^{IV}+x)$$
$$5n+x-2n=3n+x(g'''+x).$$
$$7n+x-(3n+x)=4n(c^{IV})$$
$$5n+x-4n=n+x(c''+x)$$
$$4n-(n+x)=3n-x(g'''-x)$$

und schliefslich gäbe dann $3n+x$ und $3n-x$ die Stöfse $2x$. Von allen diesen Zwischentönen läfst sich aber Nichts entdecken und man kann daher wohl annehmen, dafs, wenn schon bei so aufserordentlich starken Tönen, als ich sie angewendet habe, die Entstehung der secundären Stöfse durch Combinationstöne so gut wie gar keine Wahrscheinlichkeit für sich hat, sie bei schwächeren einfachen Tönen, wie sie z. B. von gedachten Orgelpfeifen gegeben werden, wohl sicherlich nur als eine Fiction ohne alle Wirklichkeit zu betrachten ist. Gelänge es aber andererseits, so mächtige, einfache primäre Töne herzustellen, dafs von ihnen

alle nach der alten Anschauungsweise zur Bildung der secundären Stöfse erforderlichen Combinationstöne mit einer genügenden Intensität gebildet würden, so möchten in dem Falle denn auch wieder die beiden Stofstöne *m* und *m'* und ihre Stöfse eine solch bedeutende Stärke erlangt haben, dafs die mit letzteren zusammenfallenden Stöfse der Combinationstöne höherer Ordnung doch immer nur einen äufserst geringen Theil der Intensität der gehörten Stöfse bilden möchten.

Um eine leichte Uebersicht über alle meine Beobachtungen primärer und secundärer Stöfse und Stofstöne zu gestatten, habe ich folgende Tabelle entworfen. In dieser enthält die Spalte *A* die primären Töne nebst ihren Schwingungszahlen, *B* die Verhältnifszahlen dieser beiden Töne, *C* die Anzahl der unteren Stöfse *m*, und *c'* die Verhältnifszahl derselben zum Grundton des Intervalles; *D* die Anzahl der oberen Stöfse *m'*, und *d* ihre Verhältnifszahl zum Grundton. Unter *E* ist angegeben, wie die unteren Stöfse *m*, unter *F*, wie die oberen Stöfse *m'* gehört werden. Die Spalte *G* endlich enthält die aus der Zusammenwirkung der von *m* und *m'* entstandenen secundären Stöfse und secundären Stofstöne.

Ich habe in dieser Tabelle nur diejenigen Resultate angegeben, welche jedes gewöhnliche gesunde Ohr bei der Anwendung von Tönen, wie ich sie bei diesen Untersuchungen benutzt habe, wahrnehmen kann, und die Fälle besonders bemerkt, in welchen Töne nicht direct ganz gut vernehmbar waren, deren Existenz sich nicht allein durch die secundären Stöfse zu erkennen giebt, sondern deren Daseyn auch vermittelst Hülfsgabeln unzweifelhaft nachgewiesen werden kann, wie dies z. B beiden Stofstönen in der Intervalle *c'*:*e'* und *c'*:*f'* der Fall ist. Ein „gewöhnlich gesundes Ohr“ und Töne „wie ich sie angewendet habe“, sind allerdings trotz der angegebenen Dimensionen der Stimmgabeln und Resonanzröhren, Voraussetzungen, welche der Präcision sehr ermangeln, aber es versteht sich von selbst, dafs auch die Erscheinungen beim Zusammenklange zweier

einfachen Töne sich erst dann werden in Bezug auf ihre Intensität mit vollständiger Genauigkeit angeben lassen, wenn es uns überhaupt erst möglich seyn wird, die Intensität von Tönen verschiedener Höhe in einem gemeinsamen Maaſse mit derselben Präcision auszudrücken, als man jetzt ihre Höhe der Schwingungszahlen anzugeben im Stande ist.

Einige scheinbare Anomalien, welche diese Tabelle zeigt, indem z. B. das System der secundären Stöſse sich weniger vollständig bei den Intervallen mit dem Grundtone c' als bei denen mit den Grundtönen c und c'' beobachten läſst und der Mangel der Stoſstöne bei den Intervallen mit dem Grundtone c'', welche über 2 : 5 hinausliegen, erklären sich, wie ich schon oben angegeben habe, aus der geringeren Intensität der Töne, welche diese betreffenden Intervalle bildeten.

Tabelle der direct beobachteten primären und secundären Stöſse und Stoſstöne.

Intervalle mit dem Grundton Contra E = 80 v. s.

A		*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
	v. s.	$n : n+m$			m		m'		
E:Ct.E =	80	1 : 1	Einklang		0				
„ :Ct.G =	100	4 : 5	Einzeln hörbar		10				
„ :Ct.A =	106,6	3 : 4	Lautes Rasseln		13,3	0 – 2	26,6		
„ :Ct.H =	120	2 : 3	„	1	20		20	1	
„ :	144		„		32		8		Treten hervor
„ :	148		„		34	0 – 2	6		Ganz deutlich
„ :	150		Schwächeres Rasseln		35		5		„
„ :	156				38		2		„
„ :Ct.E =	160						0		Octave

Intervalle mit dem Grundton Contra $G = 96$ v. s.

A		B	E	c	C	G	D	d	F
	v. s.	$n : n+m$			m		m'		
Ct.G:Ct.G=	96	1 : 1	Einklang		0				
„ :	116		Einzeln hörbar		10				
„ :	136		Lautes Rasseln		20	0–8	28		Laut. Rasseln
„ :	140		„		22		26		„
„ : Ct.D=	144	2 : 3	„	1	24		24	1	„
„ :	148		„		26		22		„
„ :	152		„		28	0–10	20		„
„ :	156		„		30		18		„
„ : Ct.E=	160	3 : 5	„		32		16		„
„ :	172		„		38		10		Einz. hörbar
„ :	192						0		Octave

Intervalle mit dem Grundton $C = 128$ v. s.
Erste Periode von $C : C'$ (1 : 1) bis $C : c$ (1 : 2).

A		B	E	c	C	G	D	d	F
	v. s.	$n : n+m$			m				
C : C=	128	1 : 1	Einklang		0				
	132		Einzeln hörbar		2				
	136		„		4				
	140		„		6				
: D=	144	8 : 9	„		8				
	148		„		10				
	152		„		12				
	156		Einfaches Rollen		14				
: E=	160	4 : 5	„		16				
	164		„		18				
	168		„		20				
: F=	170,6	3 : 4	„		21,3				
	172		„		22				
	176		Verworrenes Rasseln		24		40		Verworrenes Rasseln
	180				26		38		
	184		„		28	0–8	36		„
	188		„		30		34		„
: G=	192	2 : 3	„	1	32		32	1	„
	196		„		34		30		„
	200		„		36	0–8	28		„
	204		„		38		26		„
	208		„		40		24		„
	212		„		42		22		„
: A=	213,3	3 : 5	„		42,6		20,3		„
	216		„		44		20		Einfaches Rollen
	220						18		
	224	4 : 7					16		„
	228						14		„
	232						12		„
	236						10		Einzeln hörbar
: H=	240	8 : 15					8		„
	244						6		„
	248						4		„
	252						2		„
C : c=	256	1 : 2					0		Octave

Zweite Periode von $C:c$ (1:2) bis $C:g$ (1:3).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:2n+m$			*m*		*m'*		
$C:c=$ 256	1:2	Octave		0				
260		Einzeln hörbar		2				
264		"		4				
268		"		6				
272		"		8				
276		"		10				
280		Einfaches Rollen		12				
284		"		14				
$:d=$ 288	4:9	"		16				
292		"		18				
296		Verworrenes Ras-		20		44		Verworrenes
300		seln		22		42		Rasseln
304		"		24		40		"
308		Schwaches Rasseln,		26		38		"
312		welches vor den		28	0–6	36		"
316		secundären Stö-		30		34		"
$:e=$ 320	2:5	fsen zurücktritt	1	32		32	1	"
324		"		34		30		"
328		"		36		28		"
332		"		38	0–6	26		"
336		Blofse Rauhigkeit		40		24		Blofse Rauhig-
340						22		keit
$f:=$ 341,3	3:8					21,3		"
344						20		Einfaches
348						18		Rollen
352						16		"
356						14		"
360						12		"
364						10		Einzeln hörbar
368						8		"
372						6		"
376						4		"
380		"				2		"
$C:g=$ 384	1:3					0		Duodecime

Dritte Periode von $C:g$ (1:3) bis $C:e'$ (1:4).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:3n+m$			*m*		*m'*		
$C:g=$ 384	1:3	Duodecime		0				
388		Einfach hörbar		2				
392		"		4				
396		"		6				
400		"		8				
404		Einfaches Rollen		10				
408		"		12				
412		"		14				
416		"		16				
420		Verworrenes und		18				Verworrenes u. schwaches Rasseln
424		schwach. Rasseln		20				

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:3n+m$			m		m'		
426,6		Verworrenes und		21,3				Verworren. u
428		schwach. Rasseln		22				schwaches
432		"		24		40		Rasseln
436		"		26		38		"
440		"		28		36		"
444		"		30	0–3	34		"
448	2 : 7	"	1	32		32	1	"
452		"		34	0–3	30		"
456		Blofse Rauhigkeit		36		28		Blofse Rauhig-
460						26		keit
464						24		"
468						22		"
472						20		"
476						18		"
480						16		Einfach. deut-
484						14		liches Rolle
488						12		"
492						10		Einzeln hörba
496						8		"
500						6		"
504						4		"
508						2		"
512	1 : 4					0		Doppeloctave

Vierte Periode von $C:c'$ (1 : 4) bis $C:e'$ (1 : 5).

v. s.	$n:4n+m$							
$C:c=$ 512	1 : 4	Doppeloctave		0				
520		Einzeln hörbar		4				
528		"		8				
536		Einfaches Rasseln		12				
544		Schwaches Rasseln		16				
552		Reiner Zusammen-		20				
560		klang		24				
568		"		28				
$:d'=$ 576	2 : 9	"		32				
⋮								
616						10		Treten her
624						8		Einzeln de
632						4		lich
$C:e'=$ 640	1 : 5					0		Terz der Doppeloctave

Fünfte Periode von $C:c'$ (1 : 5) bis $C:g'$ (1 : 6).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n:5n+m$			m		m'		
$C:e'=$ 640	1 : 5	Terz d. Doppeloctave		0				
648		Einzeln hörbar		4				
656		„		8				
660		Noch deutlich		10				
664		Verschwinden		12				
⋮								
748						10		Treten hervor
752						8		Einzeln deut-
760						4		lich
$C:g'=$ 768	1 : 6					0		Quinte d. Doppeloctave

Sechste Periode von $C:g'$ (1 : 6) bis C: 896 v. s. (1 : 7).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n:6n+m$			m		m'		
$C:g'=$ 768	1 : 6	Quinte der Doppeloctave		0				
776		Einzeln hörbar		4				
780		Noch deutlich		6				
784		Verschwinden		8				
⋮								
884						6		Schwach hörbar
888						4		Ganz deutlich
892						2		„
896	1 : 7					0		Rein 1 : 7

Siebente Periode von C: 896 v. s. (1 : 7) bis $C:c''$ (1 : 8).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n:7n+w$			m		m'		
C: 896	1 : 7	Rein 1 : 7		0				
900		Einzeln hörbar		2				
904		Noch deutlich		4				
⋮		Verschwinden		6				
1016						4		Vernehmbar
1020						2		Ganz deutlich
1024	1 : 8					0		Dritte Octave

Intervalle mit dem Grundton $c = 256$ v. s.

Erste Periode von $c : c$ (1 : 1) bis $c : c'$ (1 : 2).

A	*B*	*E*	c	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : n + m$			*m*		*m'*		
$c : c =$ 256	1 : 1	Einklang		0				
264		Einzeln hörbar		4				
272		„		8				
280		„		12				
$: d =$ 288	8 : 9	Einfaches Rasseln		16				
296		„		20				
304		„		24				
312		„		28	0—4	100		
$: e =$ 320	4 : 5	Verworrenes Ras-	1	32	$><$	96	3	
328		seln		36	0—4 0—6	92		
336		„		40		88		
$: f =$ 341,3	3 : 4	„	1	42,6		85,3	2	
344		„		44	0—6	84		
352		„		48		80		
360		Das Rasseln wird		52		76		
368		immer schwächer		56		72		
376		und tritt vor den		60	0—8	68		
$: g =$ 384	2 : 3	lauten secundären		64		64		Rauhheit (
392		Stöfsen zurück		68		60		kaum hörb
400				72	0—10	56		„
408				76		52		„
416				80		48		„
424				84	0—6	44		„
$: a =$ 426,6	3 : 5		2	85,3		42,6	1	„
432				88		40		„
440				92	0—8 0—4	36		Deutlicher
448	4 : 7		3	96	$><$	32	1	Rollen
456					0—4	28		„
464						24		„
472						20		„
$: h =$ 480	8 : 15					16		Einz. hörb
488						12		„
496						8		„
504						4		„
$c : c' =$ 512	1 : 2					0		Octave

Zweite Periode von $c : c'$ (1 : 2) bis $c : g'$ (1 : 3).

A	*B*	*E*	c	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 2n + m$			*m*		*m'*		
$c : c' =$ 512	1 : 2	Octave		0				
520		Einzeln hörbar		4				
528		„		8				
536		„		12				
544		Einfaches Rollen		16				
552		„		20				
560		„		24				
568		„		28				

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:2n+m$			m		m'		
$c:d' =$ 576	4 : 9	Schwaches Rollen		32				
584		Rauhigkeit		36		92		
592		"		40	0–3	88		
596,3		"	1	42,6		85,3	2	
600		"		44	0–3	84		
608		Ungestörter Zu-		48		80		
616		sammenklang		52		76		
624				56		72		
632				60	0–8	68		
$:e' =$ 640	2 : 5		1	64		64	1	
648				68		60		
656				72	0–10	56		
664				76		52		
672				80		48		
680				84	0–4	44		
$:f' =$ 682,6	3 : 8		2	85,3		42,6	1	
688				88	0–4	40		
696						36		
704						32		Rauhigkeit
712						28		Stärk. Rauhigk.
720						24		Rollen
728						20		"
736						16		"
744						12		Einzeln hörbar
752						8		"
760						4		"
$c:g' =$ 768	1 : 3					0		Duodecime

Dritte Periode von $c:g'$ (1 : 3) bis $c:e''$ (1 : 4).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:3n+m$			m		m'		
$c:g' =$ 768	1 : 3	Duodecime		0				
776		Einzeln hörbar		4				
784		"		8				
792		Rollen		12				
800		"		16				
808		"		20				
816		Rauhigkeit		24				
824		Ungestörter Zu-		32				
⋮		sammenklang		⋮				
888				60	0–8	68		
896	2 : 7		1	64		64	1	
904				68	0–10	60		
912				72		56		
920				76		52		
928				80		48		
936				84	0–4	44		
944	1 : 11		2	88	0–4	40	1	
⋮						⋮		
984						20		Rauhigkeit

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.								
$c:g' =$ 992						16		Stärker. Rau
1000						12		Rollen
1008						8		Einzeln hör
1016						4		"
$c:c'' =$ 1024	1 : 4					0		Doppeloct

Vierte Periode von $c:c''$ (1 : 4) bis $c:e''$ (1 : 5).

v. s.	$n:4n+m$			m		m'		
$c:c'' =$ 1024	1 : 4	Doppeloctave		0				
1032		Einzeln hörbar		4				
⋮		Ungestörter Zusammenklang						
1148				60	0–4	68		
$:d =$ 1152			1	64		64	1	
1160				68	0–4	60		
								Einz. hörba
1272						4		"
$c:e'' =$ 1280	1 : 5					0		Terz der Do peloctave

Fünfte Periode von $c:e''$ (1 : 5) bis $c:g''$ (1 : 6).

v. s.	$n:5n+m$			m				
$c:e'' =$ 1280	1 : 5	Terz d. Doppeloctave		0				
1304		Einzeln hörbar		12				
⋮								
1520						6		Hörbar
$c:g'' =$ 1536	1 : 6					0		Quinte d. Do peloctave

Sechste Periode von $c:g''$ (1 : 6) bis c : 1792 v. s. (1 : 7).

v. s.	$n:6n+m$			m		m'		
$c:g'' =$ 1536	1 : 6	Quinte d. Doppeloct.		0				
⋮				⋮				
1552		Hörbar		8				
⋮								
1780						6		Hörbar
1792	1 : 7					0		Rein 1:7

Siebente Periode von c : 1792 v. s. (1 : 7) bis $c:c'''$ (1 : 8).

v. s.	$n:7n+m$			m		m'		
c : 1792	1 : 7	Rein 1 : 7		0				
1804		Hörbar		6				
2040						4		Hörbar
$c:c''' =$ 2048	1 : 8					0		Dritte Oc

Intervalle mit dem Grundton $c' = 572$ v. s.

Erste Periode von $c' : c'$ (1 : 1) bis $c' : c''$ (1 : 2).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n : n + m$			m		m'		
$c' : c' =$ 512	1 : 1	Einklang		0				
528		Stöfse		8				
544		Rollen		16				
560		Rasseln		24				
$: d' =$ 576	8 : 9	"		32				
592		"		40				
608		"		48				
624		"		56	0–4			
$: e' =$ 640	4 : 5	Rauhigkeit u. leiser	1	64		192	3	Leiser Ton nur
656		Ton C		72	0–4 0–8	184		durch Stöfse
672		"		80		176		mit Hülfsga-
$: f' =$ 682,6	3 : 4	"	1	85,3		170,6	2	beln nach-
688		Ton ohne Rauhheit		88		168		weisbar
704		"		96	0–8	160		"
720		"		104		152		"
736		"		112		144		"
752		"		120	0–16	136		"
$: g' =$ 768	2 : 3	"		128		128		"
784		"		136		120		"
800		Ton etwas stärker		144	0–16	112		"
816		"		152		104		"
832		"		160		96		"
848		"		168	0–6	88		
$: a' =$ 853,3	3 : 5	"	2	170,6		85,3	1	
864		Ton wieder schwä-		176	0–6	80		Ton selbst mit
880		cher, doch noch		184		72		Hülfsgabeln
896		mit Hülfsgabeln		192		64		kaum mehr
912		nachweisbar				56		nachweisbar
928						48		
944						40		
$: h' =$ 960	8 : 15					32		Rauhigkeit
976						24		Rollen
992						16		"
1008						8		Einzeln hörbar
$c' : c'' =$ 1024	1 : 2					0		Octave

Zweite Periode von $c' : c''$ (1 : 2) bis $c' : g''$ (1 : 3).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n : 2n + m$			m				
$c' : c'' =$ 1024	1 : 2	Octave		0				
1032		Einzeln hörbar		4				
1040		"		8				
⋮								
$: d'' =$ 1152	4 : 9	Schwache Rauhigkeit		64				
⋮								
$: e'' =$ 1280	2 : 5		1	128	0–4 0–4	128	1	
⋮								

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 2n + m$			m		m'		
⋮								
$c' : f'' = 1365{,}3$	3 : 8			170,6				
1496						20		Rauhigkeit
1512						12		Einzelnhörb
1520						8		"
1528						4		"
$c' : g'' = 1536$	1 : 3					0		Duodecime

Dritte Periode von $c' : g''$ (1 : 3) bis $c' : c'''$ (1 : 4).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 3n + m$			m		m'		
$c' : g'' = 1536$	1 : 3	Duodecime		0				
1552		Einzeln hörbar		8				
1578		Rauhigkeit		16				
⋮				⋮				
1792	2 : 7		1	128	0−3 >< 0−3	128	1	
⋮						⋮		
2028						10		Rasseln
2032						8		Einzelnhörb
2040						4		"
$c' : c''' = 2048$	1 : 4					0		Doppeloctav

Vierte Periode von $c' : c'''$ (1 : 4) bis $c' : e'''$ (1 : 5).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 4n + m$			m		m'		
$c' : c''' = 2048$	1 : 4	Doppeloctave						
⋮		Stöfse bis etwa		8				
$: d''' = 2304$	2 : 9	Ungestörter Zusammenklang						
⋮								
5550						5		Einz. hörb
$c' : e''' = 5560$	1 : 5					0		Terz der D peloctave

Fünfte Periode von $c' : e'''$ (1 : 5) bis $c' : g'''$ (1 : 6).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 5n + m$			m		m'		
$c' : e''' = 5560$	1 : 5	Terz der Doppeloctave		0				
5570		Einzeln hörbar		5				
3066						3		Einz. hörb
g''' 3072						0		Quinte d. D peloctave

Intervalle mit dem Grundton $c'' = 1024$ v. s.

Erste Periode von $c'' : c''$ (1 : 1) bis $c'' : c'''$ (1 : 2).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n : n + m$			m		m'		
$c'' : c'' = 1024$	1 : 1	Einklang Stöfse		0				
$: d'' = 1152$	8 : 9	Ton C schwach		64				
$: e'' = 1280$	4 : 5	Ton c stark	1	128	ver- $><$ nehmbar	384	3	Ton g' schwach
$: f'' = 1365,3$	3 : 4	Ton f stark	1	170,6	deutlich $><$	341,3	2	Ton f' verschmilzt mit f
$: g'' = 1536$	2 : 3	Ton c' ganz stark	1	256	sehr $><$ deutlich	256	1	Ton c' ganz strk.
$: a'' = 1706,6$	3 : 5	Ton f' laut	2	341,3	deutlich $><$	170,6	1	Ton f laut
1792	4 : 7	Ton g' vernehmbar	3	384	ver- $><$ nehmbar	128	1	Ton c vernehmbar
$: h'' = 1920$	8 : 15					64		Rauhigkeit u. C ganz schwach Stöfse
$c'' : c''' = 2048$	1 : 2					0		Octave

Zweite Periode von $c'' : c'''$ (1 : 2) bis $c'' : g'''$ (1 : 3).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n : 2n + m$			m	m'			
$c'' : c''' = 2048$	1 : 2	Octave Stöfse						
$: d''' = 2304$	4 : 9	c hörbar		128				
2389,3	3 : 7	f hörbar	1	170,6	kaum hörbar $><$	341,3	2	f mit f' verschmilzt
$: e''' = 2560$	2 : 5	c' ganz laut	1	256	$><$ deutlich	256	1	c' ganz laut
$: f''' = 2730,6$ 2816	3 : 8 4 : 11							
$c'' : g''' = 3072$	1 : 3							Stöfse Duodecime

Dritte Periode von $c'' : g'''$ (1 : 3) bis $c'' : c^{IV}$ (1 : 4).

A	B	E	c	C	G	D	d	F
v. s.	$n : 3n + m$			m		m'		
$c'' : g''' = 3072$	1 : 3	Duodecime Stöfse		0 ⋮				
$c'' : c^{IV} = 4096$	1 : 4					⋮ 0		Stöfse Doppeloctave

Intervalle mit dem Grundton $c''' = 2048$.

Erste Periode von $c''' : c'''$ (1 : 1) bis $c''' : c^{IV}$ (1 : 2).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : n + m$			m		m'		
$c''' : c''' = 2048$	1 : 1	Einklang Stöfse		0				
$: d''' = 2304$	8 : 9	c gut hörbar		128				
2389,3	6 : 7	f gut hörbar		170,6				
$: e''' = 2560$	4 : 5	c' laut	1	256	hörbar ><	768	3	g'' schwach
$: f''' = 2730,6$	3 : 4	f' laut	1	341,3	deutlich ><	682,6	2	f'' verschmil mit f
2816	8 : 11	g' laut		384		640		e'' laut wie g
$: g''' = 3072$	2 : 3	c'' sehr laut	1	512	laut ><	512	1	c'' sehr laut
3328	8 : 13	e'' laut		640		384		g' laut wie e
$: a''' = 3413,3$	3 : 5	f'' deutlich	2	682,6	>< deutlich	341,3	1	f' deutlich
3584	4 : 7	g'' vernehmbar	3	768	>< hörbar	256	1	c' vernehmbar
$: h''' = 3840$	8 : 15					128		c deutlich Stöfse
$c''' : c^{IV} = 4096$	1 : 2					0		Octave

Zweite Periode von $c''' : c^{IV}$ (1 : 2) bis $c''' : g^{IV}$ (1 : 3).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 2n + m$			m		m'		
$c''' : c^{IV} = 4096$	1 : 2	Octave		0				
$: d^{IV} = 4608$	4 : 9	c' laut	1	256	vernehmbar ><	768	3	g'' schwach
$: e^{IV} = 5120$	2 : 5	c'' laut	1	512	laut ><	512	1	c'' laut
$: f^{IV} = 5461,3$	3 : 8	f'' stark	2	682,6	>< vernehmbar	341,3	1	f' schwächer
5632	4 : 11	g'' schwach		768		256		c' gut hörbar Stöfse
$c''' : g^{IV} = 6144$	1 : 3					0		Duodecime

Dritte Periode von $c''' : g^{IV}$ (1 : 3) bis $c^{IV} : c^{V}$ (1 : 4).

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n : 3n + m$			m		m'		
$c''' : g^{IV} = 6144$	1 : 3	Duodecime		0				
6656	4 : 13	c' hörbar		256				
$: e^{IV} = 6826,6$	3 : 10	f' hörbar		341,3		682,6		f'' verschmil mit f'
7168	2 : 7	c'' deutlich	1	512	hörbar ><	512	1	c'' deutlich

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:3n+m$			m		m'		
$c''':h^{IV} = 7680$	4 : 15					256		c' schwach aber deutlich
7936	8 : 31					128		c vernehmbar
$c''':c^{V} = 8192$	1 : 4							Doppeloctave

Intervalle mit dem Grundton $c^{IV} = 4096$ v. s.

A	*B*	*E*	*c*	*C*	*G*	*D*	*d*	*F*
v. s.	$n:n+m$			m		m'		
$c^{IV}:c^{IV} = 4096$	1 : 1	Einklang Stöfse						
$:d^{IV} = 4608$	8 : 9	c' laut		256				
$:e^{IV} = 5120$	4 : 5	c'' laut	1	512	hörbar ><		3	
$:f^{IV} = 5461{,}3$	3 : 4	f''' laut	1	682,6	><		2	
5632	8 : 11	g'' laut	3	768	deutlich c''	1280	5	e''' laut
$:g^{IV} = 6144$	2 : 3	c''' laut	1	1024	laut ><	1024	1	c''' laut
6656	8 : 13	e''' laut	5	1280	c''	768	3	g'' laut
$:a^{IV} = 6826{,}6$	3 : 5	f''' hörbar	2	1365,3	deutlich ><	682,6	1	f'' hörbar
7168	4 : 7	g''' schwächer	3	1536	>< hörbar	512	1	c'' stärker als g''
$:h^{IV} = 7680$	8 : 15					256		c' laut
7936	16 : 31					128		c laut
8064	32 : 63					64		C vernehmbar Stöfse
$c^{IV}:c^{V} = 8192$	1 : 2							Octave

III. Differenztöne und Summationstöne.

Bekanntlich hat Helmholtz auf theoretischem Wege nachgewiesen, dafs, „wenn irgendwo die Schwingungen der Luft oder eines andern elastischen Körpers, der von beiden primären Tönen gleichzeitig in Bewegung gesetzt wird, so heftig werden, dafs die Schwingungen nicht mehr als unendlich klein betrachtet werden können, Schwingungen der Luft entstehen müssen, deren Tonhöhe gleich ist der Differenz und der Summe der Schwingungszahlen der primären Töne.“ Diese Combinationstöne, welche mit den

Stöfsen in durchaus keiner Verbindung stehen, sind alle, sowohl die der Differenz, als die der Summe, ganz aufserordentlich viel schwächer als die Stofstöne.

Wenden wir uns zuerst zur Beobachtung der Differenztöne, so finden wir, dafs dieselben für alle Intervalle $n : n + m$, wenn m nicht viel gröfser als $\frac{n}{2}$, mit den Stofstönen zusammenfallen und sich also bei diesen nicht nachweisen lassen. Wir haben aber gesehen, dafs für alle Intervalle $n : n + m$, wenn m viel gröfser als $\frac{n}{2}$, die Stofstöne $m' = n - m$ sind, für die Intervalle $n : h\,n + m$, wenn m kleiner als $\frac{n}{2}, = m$, und wenn m viel gröfser als $\frac{n}{2}, = n - m$, also nicht gleich der Differenz der Schwingungen der primären Töne: man mufs also bei diesen Intervallen die Differenztöne zu beobachten suchen.

Wie ich eben angegeben habe, lassen diese Intervalle, von hohen Tönen gebildet, die Stofstöne ganz laut hören, während von den Differenztönen keine Spur wahrzunehmen ist. $c''' : h'''$ (8 : 15) läfst nur c (1) und keine Spur von 7 hören, $c''' : d^{IV}$ (4 : 9) nur c' (1), und nichts von e''' (5), $c''' : f^{IV}$ (3 : 8) nur f' und f'', aber durchaus kein a''' (5), und es geht hieraus also hervor, dafs die Differenztöne in jedem Falle ganz aufserordentlich viel schwächer seyn müssen, als die Stofstöne sind, was ihre Existenz überhaupt aber anlangt, gelang es mir doch, dieselben unzweifelhaft nachzuweisen, indem ich die eben angeführten Intervalle mit tieferen Tönen bildete, welche bei ihrer längeren Dauer mir gestatteten, Hülfsgabeln zu benutzen, die mit den gesuchten Tönen eine bestimmte Anzahl Stöfse gaben.

Liefs ich die grofsen Gabeln c' und h' (8 und 15), vor den Resonanzröhren ertönen, so fiel zuerst das starke Rasseln der 32 Stöfse $m' = n - m$ in die Ohren, hielt ich aber eine Stimmgabel von 440 v. s. in einer gröfseren Entfernung vom Ohre, so traten die vier Stöfse mit dem Tone 7 = 448 v. s. vernehmbar hervor. Ebenso gelang es mir

beim Zusammenklange der Töne e' und d'' (4 und 9), die Existenz des sehr leisen Tones e' (5), mit Hülfe einer Stimmgabel von 648 v. s., und beim Zusammenklange der Töne c' und f'' (3 und 8), ein leises a' (5) durch die Stöfse mit einer Gabel von 860 v. s. nachzuweisen.

Was die Beobachtung der Summationstöne anlangt, so hat Helmholtz bemerkt, dafs „dieselben, nur bei besonders günstigen Gelegenheiten, namentlich am Harmonium und an der mehrstimmigen Sirene leichter zu hören seyen." (Tonempfind. III, p. 244). Wenn man aber auch wirklich beim Zusammentönen zweier Klänge einer Sirene oder eines Zungeninstrumentes mitunter Töne vernehmen kann, deren Höhe gleich der Summe der primären Grundtöne beider Klänge ist, so genügt dieses doch noch nicht die Existenz der Summationstöne zu beweisen, denn weder die Sirenen noch die Zungeninstrumente erzeugen einfache Töne, sondern Klänge, die an Obertönen reich sind, und eine einfache Betrachtung zeigt, dafs in Folge dessen die blofsen Stofstöne, welche von den Obertönen erzeugt werden müssen, ausreichen, die Existenz von Tönen zu erklären, deren Schwingungszahl gleich ist der Summe der Schwingungszahlen der Grundtöne der Klänge.

Zwei Klänge im Intervalle der Quinte enthalten die beiden Reihen Töne:

2,	4,	6,	8,	10
3,	6,	9,	12,	15

und die fünften Töne beider Klänge (10 und 15) geben einen Stofston $m = m' = 5$, welcher gleich ist der Summe $2 + 3$ der Grundtöne.

Bei der Quarte $3:4$ hat man die beiden Reihen Töne

3,	6,	9,	12,	15,	18,	21
4,	8,	12,	16,	20,	24,	28

und es sind hier die siebenten Töne der Klänge, welche einen Stofston erzeugen, der gleich der Summe $3 + 4$ ist. Bei der Terz $4:5$, mufs durch die erneuten Töne beider Klänge (36 und 45), ein Stofston entstehen, welcher gleich der Summe $4 + 5$, und so ist bei jedem Verhältnisse

von der Form $n:n+1$, der Stofston der $2n+1$ten Töne beider Klänge gleich der Summe der Grundtöne.

Bei Intervallen von der Form $n:n+2$, sind es auch zwei Töne gleicher Ordnung, nämlich die $n+1$ten beider Klänge, deren Stofston gleich der Summe der Grundtöne ist. So giebt die Sexte $3:5$ die Töne

$$\begin{array}{cccc} 3, & 6, & 9, & 12 \\ 5, & 10, & 15, & 20 \end{array}$$

wo der Stofston m von 12 und $20 = 8 = 5 + 3$ ist.

Bei Intervallen endlich von der Form $n:n+3$, sind es Töne ungleicher Ordnung, nämlich der $n+2$te Ton des tieferen Klanges und der $n+1$te des höheren, deren Stofston gleich der Summe der Grundtöne ist. Also z. B. bei der kleinen Sexte $5:8$, gaben der siebente Ton von 5 (35), und der sechste von 8 (48), den Stofston m, welcher gleich der Summe $5+8$ ist.

Es könnte vielleicht auffallend erscheinen, dafs man gerade diejenigen Stofstöne von Obertönen zweier Klänge besonders bemerkt haben sollte, deren Schwingungszahl gleich der Summe der beiden Grundtöne war, während doch noch viele andere Obertöne ebenfalls ihre Stofstöne müfsten hören lassen; dagegen ist aber zu bemerken, dafs die Anzahl dieser Töne, welche hörbar werden können, durchaus nicht so grofs ist, als man wohl vor einer genaueren Prüfung anzunehmen geneigt seyn möchte. So können die Obertöne eines Quintenintervalles bis zu dem fünften hin, unter einander aufser dem Tone 5, keinen Stofston mehr hören lassen, der höher als die Grundtöne, welcher nicht mit einem der Obertöne beider Klänge zusammenfiele. Bei der Quarte ist es neben dem Tone 7 nur noch der aus 15 und 20 entstandene Stofston 5 der ersten sieben Obertöne, welcher nicht mit Tönen, die schon in den Klängen enthalten, zusammenfällt, und ähnlich gestalten sich die Verhältnisse bei den andern Intervallen.

Die Stofstöne in allen hier angeführten Fällen sind gleich der Differenz der Töne, von welchen sie gebildet

werden und fallen also zusammen mit den Differenztönen dieser selben Töne; wenn man aber in Erwägung zieht, welch' grofse Intensität zwei primäre Töne haben müssen, um nur einen sehr schwachen Differenzton hervorzubringen, so kann man mit ziemlicher Gewifsheit annehmen, dafs die Intensität der durch die Obertöne erzeugten Differenztöne verschwindend klein seyn mufs gegen die der Stofstöne, mit denen sie zusammenfallen.

Es ist ferner zu bemerken, dafs bei der Sirene und dem Harmonium nicht nur die einzeln hervorgebrachten Töne von Obertönen begleitet sind, sondern auch, wenn zwei Klänge zu gleicher Zeit angegeben werden, keiner derselben mehr als aus einer Reihe aufeinanderfolgender gleicher Impulse entstanden angesehen werden kann, denn im Augenblicke, in welchem die Oeffnungen auf zwei concentrischen Kreisen der Sirene zugleich offen sind, ist die Intensität des Impulses nicht doppelt so grofs, als sie seyn würde, wenn nur ein Löcherkreis allein geöffnet wäre, und diese Verringerung der Intensität der Impulse im Augenblicke der Coexistenz, welche allein durch die Disposition des angewendeten Instrumentes hervorgerufen wird, reicht allein hin Erscheinungen hervorzurufen, welche mit denen des Zusammenklanges einfacher und durch gesonderte Tonquellen hervorgerufener Töne nichts zu thun haben. (Tonemfind. III, 627. **Terquem**, *Annales de l'École Normale VII*, 1870). Will man also sicher seyn, dafs man es wirklich mit Summationstönen einfacher primärer Töne zu thun hat, so mufs man sowohl die mehrstimmige Sirene, wie auch die Zungenpfeifen bei Seite lassen und sich wieder nur der einfachen Stimmgabeltöne bedienen.

Stimmgabeln für die Töne c', e', g', c'', mit Zinken von 6 Mm. Dicke auf Resonanzkästen, wie sie gewöhnlich in den physikalischen Cabineten gebräuchlich sind, bilden trotz ihrer schon ziemlich bedeutenden Intensität, die Summationstöne nur so schwach, dafs man Hülfsgabeln, welche mit ihnen Stöfse geben, nöthig hat, um ihre Existenz zweifellos wahrzunehmen. Besitzt man eine Reihe

Stimmgabeln für die harmonischen Töne des Grundtones c, so sind besonders die Intervalle $c' : g'$ und $g' : c''$ für den Nachweis der Summationstöne vermittelst der Stöſse geeignet, da die Hülfsgabeln für dieselben sich leicht herstellen lassen, indem man die Gabeln der erwähnten Reihe für e'', und für den siebenten Oberton von c mit etwas Wachs verstimmt. Bei so starken Tönen aber, wie ich sie angewendet habe, sind die Summationstöne schon hinreichend laut, um direct ohne Hülfsgabeln wahrgenommen zu werden. Bei $c' : g'$ (2 : 3), hört man deutlich e'' (5), welches mit c' und g' wieder die Summationstöne der zweiten Ordnung 7 und 8 (c''') bildet, die sich durch Stöſse mit den passenden Hülfsgabeln zu erkennen geben, und andere Hülfsgabeln lassen, wenn auch schon durch nur sehr leise Stöſse, sogar noch die Summationstöne dritter Ordnung $2 + 7 = 9$ (d'''), $2 + 8$ und $3 + 7 = 10$ (e'''), und $3 + 8 = 11$ bemerken. Ebenso hört man auch bei $c' : e'$ (4 : 5) den Ton $9 = d''$, und kann man vermittelst der Hülfsgabeln die Töne $9 + 4 = 13$, $9 + 5 = 14$ und die Summationstöne dritter Ordnung 17, 18 und 19 nachweisen. Die Intervalle mit dem Grundtone $c' = 512$ v. s. eignen sich im Allgemeinen am besten für die Beobachtung der Differenz- und Summationstöne, da bei diesen einerseits das Rasseln der discontinuirlichen Stöſse nicht mehr sehr, oder selbst garnicht mehr störend ist und andererseits die Stoſstöne wegen ihrer groſsen Tiefe nur eine sehr geringe Intensität haben.

Aus den hier angegebenen Beobachtungen geht also hervor, daſs Differenztöne und Summationstöne auch beim Zusammenklange einfacher und durch gesonderte Tonquellen erzeugter Töne, wenn dieselben eine sehr groſse Intensität besitzen, nachgewiesen werden können, daſs sie aber auſserordentlich viel schwächer sind, als die Stoſstöne, so daſs beim Zusammenklange zweier Klänge mit einigermaſsen starken Obertönen, aller Wahrscheinlichkeit nach in den meisten Fällen die hörbaren Töne, deren Schwingungszahlen gleich der Summe der primären Töne sind, Stoſs-

töne der Obertöne und nicht Summationstöne der primären Töne seyn dürften.

Diese Combinationstöne werden eben so wenig durch Resonatoren verstärkt, als die oben beschriebenen Stoſstöne.

IV. Ueber die Natur der Stöſse und ihre Wirkung, verglichen mit der Wirkung primärer Impulse.

Da die Schwingungszahl der Summationstöne nicht mit der Anzahl der Stöſse beider primären Töne übereinstimmt, und dieselben folglich nicht durch diese entstanden seyn können, so hat Helmholtz diesen Umstand unter den Gründen aufgeführt, mit welchen er die Ansicht unterstützt, daſs Stöſse überhaupt keine Töne bilden können. (Tonempfind. III, pg. 245, 263). Wenn aber einerseits die Summationstöne nicht mit den Stöſsen zusammenfallen, so fallen auch andererseits, wie wir oben gesehen haben, die Stoſstöne der Intervalle $n:n+m$, wenn m viel gröſser als $\frac{n}{2}$ und ferner die Stoſstöne aller Intervalle $n:hn+m$, nicht mit der Differenz oder Summe der primären Töne zusammen, es erklären sich daher die Stoſstöne eben so wenig durch die Ursache, welche die Combinationstöne hervorruft, als sich diese letzteren aus der Existenz der Stöſse erklären lassen, und man muſs also annehmen, daſs jede dieser Gattungen von Tönen ihren besonderen Ursprung hat.

Was nun die Frage anlangt, ob die Natur der Stöſse es überhaupt zuläſst, daſs sie sich zu einem Tone zusammensetzen können, so kann natürlich der Umstand, daſs, wenn die Schwingungen der primären Töne nicht unendlich klein sind, dann Combinationstöne der Differenz und der Summe entstehen, weder für, noch gegen diese Annahme etwas beweisen; gegen die ältere Meinung von Th. Young giebt jedoch Helmholtz einige andere Gründe an, welche, um widerlegt zu werden, eine genauere Untersuchung erfordern.

Es ist vor allen Dingen die Art, wie sich die Stöſse bei gewöhnlichen und daher, besonders in den tiefen La-

gen der Skala, meistens sehr schwachen Tönen vernehmen lassen, welche Helmholtz veranlaſst hat zu erklären, daſs Schwebungen einfacher Töne, ohne daſs sich Obertöne oder Combinationstöne einmischen „nur entstehen, wenn die beiden angegebenen Töne um ein verhältniſsmäſsig kleines Intervall von einander entfernt sind,“ und daſs „wenn ihre Entfernung auch nur zur Gröſse einer kleinen Terz anwächst, ihre Schwebungen undeutlich werden.“ (Tonempfind. III, S. 284). Wendet man tiefe und genügend starke Töne an, so sind jedoch die primären Stöſse, wie ich oben beschrieben habe, noch bei beträchtlich weiteren Intervallen hörbar. In der Octave $C - c$ giebt es kein Intervall, welches dieselben nicht laut hören lieſse, und will man selbst die Stöſse m' bei Seite lassen, so kann man auch die Stöſse m allein bis über die Quinte verfolgen und bei Intervallen mit dem Grundtone Contra E, sind sie sogar bis in die Gegend der Septime zu bemerken.

In obiger Tabelle habe ich angegeben, daſs die Terz $c:e$ ein Rasseln von 32 Stöſsen hören läſst, und daſs man dieses immer schwächer werdende Rasseln noch bis zur Quinte verfolgen kann. Es bezogen sich diese Resultate jedoch nur auf den Zusammenklang primärer Töne von solcher Stärke, wie sie meine vor Resonanzröhren montirten Stimmgabeln hervorbrachten. Indem ich aber noch stärkere Töne c, e und g anwendete, welche ich erhielt, indem ich die betreffenden, ohne Laufgewichte schwingenden Gabeln auf passenden, groſsen, an beiden Enden offenen Resonanzkästen ertönen lieſs, war das Rasseln der Terz noch mächtiger und das der Quinte um ebenso viel lauter. Die 64 Stöſse der Terz $c':e'$, welche mit den Stimmgabeln und Resonatoren eine bloſse Rauhigkeit hören lassen, wurden mit den Stimmgabeln auf Resonanzkästen zu einem wahren Gerassel, und selbst die Quinte $c':g'$ lieſs noch eine Spur der durch 128 Stöſse hervorgerufenen Rauhigkeit vernehmen.

Wenn ein Ton in einem geschlossenen Raume erzeugt wird, so bilden sich bekanntlich durch die Zusammen-

setzung der directen und der von den Wänden zurückgeworfenen Tonwellen, Knotenstellen und Bäuche. Bei sehr starken einfachen Tönen mit ziemlich beträchtlicher Wellenlänge, ist der Unterschied der Intensität an diesen verschiedenen Stellen so beträchtlich, daſs man bei den hier eben erwähnten Experimenten, bei denen es vor allen Dingen darauf ankommt, daſs das Ohr beide Töne mit groſser Gewalt empfängt, wohl darauf achten muſs, daſs dasselbe sich für beide in einer Knotenstelle befinde. Man muſs dem Ohre daher erst die beste Stellung für einen Ton geben und dann die zweite Gabel so weit verschieben, bis man auch ihren Ton mit gröſster Intensität hört.

Je höher man in der Skala steigt, um so leichter ist es, sehr starke, eindringliche Töne zu erhalten und während das Intervall der Quinte $c' : g'$, welches bei gewöhnlich starken Tönen keine Spur von Rauhigkeit vernehmen läſst, von so mächtigen Tönen erzeugt werden muſs, wie sie kein in der Musik gebräuchliches Instrument giebt, wenn seine 128 Stöſse empfunden werden sollen, so genügen für die Töne $h''' \; c^{IV}$ schon die Zungen eines Harmoniums um dieselbe Anzahl Stöſse hören zu lassen.

Helmholtz, der diese letzte Thatsache angiebt, legt, um sie zu erklären, ein besonderes Gewicht auf die Kleinheit des Intervalles (Tonempfind. III, 263), aber wie aus den angeführten Experimenten mit tiefen, sehr starken Tönen hervorgeht, kommt es nur darauf an, primäre Töne von genügender Intensität anzuwenden, um bei sehr viel weiteren Intervallen dieselbe Erscheinung zu erhalten, wie man andererseits auch wieder mit genügend schwachen hohen Tönen sehr kleine Intervalle bilden kann, welche dieselbe nicht wahrnehmen lassen.

Wie sich die kleinen Intervalle hoher Töne in Bezug auf die Hörbarkeit der einzelnen Stöſse nicht von weiteren Intervallen tieferer Töne, die genügende Stärke haben, unterscheiden, welche von einander um eine gleiche absolute Anzahl Schwingungen abstehen, so zeigen sie auch keinen Unterschied in der Art, wie sie die Stoſstöne bilden. Zwei

Stimmgabeln $h'''\,c^{IV}$ (15 : 16) lassen bei einer gewissen Intensität das Rasseln der 128 Stöfse vernehmen, zugleich aber auch den Ton *c*, ebenso wie bei sehr starken Tönen c' und g' neben der Rauhigkeit ein leises *c* vernommen wird; nur ist zu bemerken, dafs, da diese hohen primären Töne eine verhältnifsmäfsig weit gröfsere Intensität haben, als die tieferen, auch ihre Stofstöne weit stärker sind als die Stofstöne gleicher Höhe, welche durch die weiteren Intervalle tieferer Töne hervorgebracht werden, und dafs es folglich auch weit leichter ist, mit ihnen sehr tiefe, gut hörbare Stofstöne zu erzeugen, als mit tieferen primären Tönen.

Ich habe oben angegeben, dafs der Zusammenklang $c : g$ selbst bei Anwendung sehr starker Stimmgabeln und Resonatoren, nur ein kaum hörbares *C* (128 v. s.) vernehmen läfst, und tiefere Stofstöne konnte ich bei den Intervallen in den tieferen Lagen der Skala gar nicht direct beobachten, mit hohen Gabeln gelingt es dagegen selbst noch das Contra *C* von 32 v. d. zu erzeugen, welches schon an der äufsersten Gränze der Hörbarkeit liegt.

Die erste Reihe Stimmgabeln, welche ich für diese Untersuchung anwendete, war auf Töne zwischen h''' und c^{V} gestimmt; da diese Gabeln jedoch schon die Stofstöne von 40 und von 36 v. d. (Contra *E* und Contra *D*) nur äufserst schwach hören lassen, so construirte ich noch eine zweite Reihe für Töne zwischen h^{IV} und c^{V}, welche eine verhältnifsmäfsig noch viel gröfsere Intensität gaben. Die Stofstöne entstehen bei diesen letzteren so stark, dafs man nicht nur z. B. *c* und *C* aus ziemlicher Entfernung laut hört, sondern dafs auch alle Töne der Contra Octave bis zum Contra *C* deutlich vernehmbar werden. Dieses letztere wird durch die Töne 4064 und 4096 v. s. erzeugt, welche im Verhältnifs von 127 : 128 stehen und also ein Intervall bilden, das weit kleiner ist als ein Komma (80 : 81).

Folgende Tabelle enthält sämmtliche Stimmgabeln, welche die beiden eben besprochenen Reihen bilden, nebst

ihren Verhältnifszahlen und den aus ihnen gebildeten Stofstönen.

v. s.	v. s.			Stöfse	Ton
3840	: 4096	15 :	16	128	= *C*
3904	: „	61 :	64	96	= *G*
3936	: „	123 :	128	80	= *E*
3968	: „	31 :	32	64	= *C*
3976	: „	497 :	512	60	= Ct. *H*
3989,3	: „	187 :	192	53,3	= „ *A*
4000	: „	125 :	128	48	= „ *G*
4010,7	: „	47 :	48	42,7	= „ *F*
4016	: „	251 :	256	40	= „ *E*
4024	: „	503 :	512	36	= „ *D*
7936	: 8192	31 :	32	128	= *C*
8064	: „	63 :	64	64	= *C*
8096	: „	253 :	256	48	= Ct. *G*
8106,7	: „	95 :	96	42,7	= „ *F*
8112	: „	507 :	512	40	= „ *E*
8120	: „	1015 :	1024	36	= „ *D*
8128	: „	127 :	128	32	= „ *E*

Man kann diese Gabeln beim Experimentiren wie gewöhnlich mit dem Bogen anstreichen, da man jedoch wegen ihrer grofsen Höhe nicht mehr die Bildung von Theiltönen zu fürchten hat, so ist es oft bequemer sie mit einem Stahlklöppel anzuschlagen, weil dieses schneller geht und der Ton der zuerst erregten Gabel dann noch nicht viel von seiner Intensität verloren hat, wenn der zweite Ton auch schon hervorgerufen ist.

Alle in dieser Tabelle angegebenen Zusammenklänge lassen immer das Rasseln, oder wie man bei diesen hohen Tönen besser sagen könnte, das Schwirren der Stöfse zugleich mit den Stofstönen hören, welch letztere um so stärker sind, als die Stimmgabeln stärker angeschlagen werden. Will man das Schwirren der Stöfse allein hören,

so hat man die beiden Gabeln nur etwas weiter vom Ohre zu entfernen, die Stofstöne kann man jedoch nicht ganz allein vernehmen, wenn man auch die Gabeln ganz dicht vor das Ohr bringt; es gelingt dieses selbst mit den Tönen 7936 und 8192 v. s. nicht vollständig, obgleich bei diesen der Stofston *c* äufserst stark ist.

Man ersieht aus diesen Experimenten, dafs bei genügend starken primären Tönen nicht mehr als 32 Stöfse nöthig sind um einen Ton zu bilden, dafs ferner Stöfse bis zu etwa 128 bei Intervallen jeder beliebigen Breite vernommen werden können, und dafs zwischen 32 und etwa 128 Stöfsen in der Secunde die Stöfse und Stofstöne zugleich gehört werden. Es fragt sich nun, ob dieses dieselben Resultate seyen, welche man auch mit primären Impulsen erhalten kann.

Dafs erstlich 32 primäre Impulse einen Ton bilden können, ist bekannt, und dafs andererseits das Ohr im Stande seyn müsse, noch über hundert Impulse in der Secunde wahrzunehmen, liefs sich schon nach der alten Beobachtung erwarten, nach welcher dasselbe den Gangunterschied zweier Pendel wahrnimmt, die um nicht mehr als eine Hundertel Secunde vom Isochronismus abweichen. Es war in der That anzunehmen, dafs, wenn das Ohr zwei Eindrücke gesondert empfinden konnte, welche um $\frac{1}{100}$ Secunde von einander abstanden, es auch eine ganze Reihe solcher Eindrücke in gleichen Abständen wahrnehmen werde; direct läfst sich jedoch diese Beobachtung sehr gut an einem Zahnrade machen. Das, welches ich angewendet, ist von Holz, hat eine Dicke von 35 Mm., einen Durchmesser von 36 Ctm. und 128 Zähne. Läfst man auf diese Zähne ein federndes Brettchen von hartem Holze sehr stark aufschlagen, so hört man bei immer zunehmender Drehungsgeschwindigkeit, die erst einzeln vernehmbaren Schläge in ein Rasseln übergehen, welches noch deutlich vernehmbar ist, wenn das Rad einmal in der Secunde umgedreht wird und folglich die Anzahl der Schläge schon 128 erreicht hat. Neben diesem Rasseln

hört man denn aber auch, wenn die einzelnen Schläge nicht gar zu stark sind, den Ton *c* (256 v. s.). Ersetzt man das stark aufschlagende Holzplättchen durch eine Kartenspitze, so ist von dem Rasseln kaum mehr etwas zu spüren und der Ton *c* tritt mit gröfserer Deutlichkeit hervor. Dreht man das Rad nur einmal in zwei Secunden, so dafs man blofs 64 Schläge in der Secunde hervorbringt, so ist das fast vollständige Verschwinden, oder das Zurücktreten des Tones *C* vor dem Gerassel der 64 Schläge noch leichter zu beobachten. Es findet demnach die gröfste Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten primärer Impulse und dem der Stöfse statt.

Dafs die gleichzeitige Hörbarkeit der einzelnen Schläge und des aus ihrer Aufeinanderfolge entstandenen Tones, wie auch das Aufhören der Hörbarkeit einzelner Schläge, wenn dieselben eine gewisse Zahl überschreiten, sich vollständig aus der von Helmholtz aufgestellten Hypothese des Höractes erklären, ist einleuchtend. Nach dieser Hypothese bestehen bekanntlich im Ohre gewisse elastische Gebilde mit „starker Dämpfung“ (Tonempfind. III, 226), welche namentlich der Wahrnehmung schnell vorübergehender, unregelmäfsiger Erschütterungen dienen können, und ferner „schwächer gedämpfte elastische Körper,“ die durch einen musikalischen Ton von entsprechender Höhe viel stärker erregt werden, als von einzelnen Stöfsen. Jeder der einzelnen Stöfse bringt also auf ein Gebilde der ersten Art einen Eindruck hervor, so lange diese Schläge nicht in einem kürzeren Zeitintervalle aufeinander folgen, als zur Dämpfung der in demselben erregten Erschütterung nöthig ist. Ferner ist aber die durch die Aufeinanderfolge der Schläge hervorgerufene periodische Bewegung aus einer Summe von pendelartigen Schwingungen d. h. einfachen Tönen zusammengesetzt, von denen jeder einen elastischen Körper der zweiten Art erregen kann. Je mehr nun die durch die einzelnen Schläge erzeugte Bewegung der Luft von der einfachen Pendelbewegung abweicht, je gröfser wird die Vernehmbarkeit der einzelnen

Stöſse und je schwächer die Intensität des aus ihrer Aufeinanderfolge entstandenen Tones seyn, wogegen die Intensität des letzteren um so mehr zunimmt, und die Hörbarkeit der einzelnen Impulse schwächer wird, als sich diese periodische Bewegung mehr der einfachen Pendelbewegung nähert, so daſs zuletzt bei nahezu ganz einfachen pendelartigen Schwingungen, wie sie Stimmgabeln ausführen, schon über 32 und 36 hinaus, nichts mehr von den einzelnen Impulsen vernehmbar bleibt und nur der Ton allein gehört wird.

Helmholtz hat ferner bemerkt, daſs sich ein schwebender Zusammenklang mit einem Ton von periodisch wechselnder Intensität vergleichen läſst, und daſs „Schwebungen nnd Intermittenzen sowohl unter sich gleich sind, als auch bei einer gewissen Anzahl die Art des Geräusches hervorbringen, welche wir Knarren nennen" (Tonempfind. III, 266). Würden nun Intermittenzen immer nur Knarren erzeugen, so könnte allerdings die groſse Aehnlichkeit, welche sie bei nicht zu groſser Anzahl mit den Schwebungen zeigen, vermuthen lassen, daſs auch diese letzteren immer nur ein Knarren hervorzubringen im Stande seyn dürften, es gehen aber auch Intermittenzen, ganz ebenso wie primäre Impulse, bei genügender Anzahl und hinreichender Intensität in einen Ton über.

Es läſst sich dieses leicht vermittelst einer Scheibe nachweisen, welche einen Kreis von groſsen Löchern trägt und die man von einer Stimmgabel rotiren läſst. Ich habe verschiedene Scheiben, mit 16, 24 und 32 Löchern von 20 Mm. Durchmesser in verschiedenen Abständen angewendet, welche aber alle immer beträchtlich gröſser waren als die Löcherkreise, so daſs der Ton so viel als möglich nur wenn eine Oeffnung sich vor der Stimmgabel befand, stark zum Ohre dringen konnte.

Natürlich wird nicht jeder beliebige Ton bei jeder beliebigen Anzahl Unterbrechungen einen Ton hervorrufen können, welcher dieser Unterbrechungszahl entspricht, sondern es wird auſser der genügenden Stärke und der hin-

reichenden Anzahl der Intermittenzen auch noch nöthig seyn, dafs die Lufterschütterungen, welche durch die Oeffnungen der Scheibe hindurchdringen, einander gleich seyen, und dieses sind sie z. B. nie, wenn die Zahl der Unterbrechungen gröfser ist als die der Doppelschwingungen des Tones. In diesem Falle gehen nämlich entweder mehrere Löcher vor derselben Tonwelle vorbei, so dafs immer ein anderer Theil dieser Welle durch jedes hindurchdringen kann, oder es sind doch wenigstens nicht gleiche Theile verschiedener Tonwellen, denen die Oeffnungen den Weg zum Ohre frei machen. Auch wenn die Zahl der Unterbrechungen nur wenig gröfser ist, als die der Doppelschwingungen des Tones, finden noch ähnliche Verhältnisse statt, und es wird wohl nöthig seyn, dafs wenigstens eine ganze Tonwelle durch jede Oeffnung dringe, wenn der Intermittenzton gut vernehmbar werden soll. Am günstigsten aber für seine Hörbarkeit scheint der Fall zu seyn, in welchem immer eine ganze Reihe von Tonwellen durch jede Oeffnung dringen kann, d. h. wenn also die Schwingungszahl des Tones sehr beträchtlich gröfser ist als die Zahl der Intermittenzen.

Läfst man eine Scheibe, auf welcher der Abstand der Löcher von einander dreimal so grofs als ihr Durchmesser (2 Ctm.) ist, mit solcher Geschwindigkeit laufen, dafs 128 Löcher in der Secunde vor der Stimmgabel vorbeigehen, so hört man schon den Intermittenzton c mit der Gabel $c'' = 512$ v. d., doch ist er schwach und tritt sehr vor den beiden Variationstönen zurück, welche gleich der Differenz und gleich der Summe der Intermittenzen und der Doppelschwingungen der Gabel, also hier $g' = 384$ v. d. und $e'' = 640$ v. d. sind (Tonempfind. III, 628). Wendet man bei immer gleicher Geschwindigkeit der Scheibe dann nacheinander die Gabeln e'', g'', siebente harmonische Ton von c und c''' an, so wird der Intermittenzton immer stärker und deutlicher. Läfst man endlich die Töne der sehr starken Gabeln c^{IV} und c^{V} durch die Löcher der Scheibe dringen, bei denen dann das Verhältnifs zwischen der

Zahl der Unterbrechungen und der der Doppelschwingungen des Tones 1 : 16 und 1 : 32 ist, so hat der Intermittenzton eine aufserordentliche Stärke, während die Töne der Differenz und der Summe 15 und 17 bei 1 : 16, schon wenig deutlich sind, und sich die Töne 31 und 33 bei 1 : 32, wohl kaum mehr beobachten lassen.

Bei den Experimenten mit den letztgenannten Gabeln, welche also für die Beobachtung des Intermittenztones am günstigsten sind, lasse ich die Scheibe unmittelbar vor der Fläche der Gabeln laufen, bei Anwendung der tieferen Gabeln schalte ich aber zwischen diese und die Scheibe passende Resonanzröhren von dem Durchmesser der Löcher auf der Scheibe ein, so dafs der Ton jedesmal laut hervortritt, wenn eines dieser Löcher sich vor der Röhrenöffnung befindet. Beiläufig sey bemerkt, dafs bei dieser Disposition dann besonders die Variationstöne überraschend schön erklingen und man sie bei abwechselnd schnellerem und langsamerem Drehen der Scheibe deutlich sich von einander entfernen und sich einander nähern hört.

Im Vorigen wurde ein Ton von an sich beständig gleicher Intensität auf mechanischem Wege nur intermittirend zum Ohre gelassen; der Uebergang periodischer Schwingungsmaxima in einen Ton läfst sich jedoch auch bei Tönen beobachten, welche selbst eine periodisch wechselnde Intensität besitzen. Ich habe zu diesem Zwecke Sirenenscheiben construirt mit Kreisen, auf denen sich die Löcher in gleichen Abständen befinden, aber periodisch gröfser und kleiner werden, so dafs eine Reihe isochroner Impulse von periodisch wechselnder Intensität erzeugt wird, wenn man sie durch Röhren von dem Durchmesser der gröfsten Löcher anbläst. Eine dieser Scheiben trug drei Kreise, jeden von 96 gleichabstehenden Löchern, deren Durchmesser auf dem ersten sechszehnmal von 1 zu 6 Mm. zu- und abnahmen, auf dem zweiten zwölfmal und auf dem dritten achtmal. Blies man diese Kreise mit einer Röhre von 6 Mm. Durchmesser an, während die Scheibe

erst ganz langsam gedreht wurde, so hörte man auf allen drei Kreisen die einzelnen Löcherperioden wie gesonderte Stöfse; wurde darauf immer schneller gedreht, so gingen zuerst die sechszehn Perioden des ersten, dann die zwölf des zweiten, und zuletzt die acht des dritten Kreises in einen Ton über; hatte endlich der hohe Ton der 96 Löcher bei acht Umdrehungen der Scheibe in der Secunde g'' erreicht, so waren die tiefen, der Anzahl der Perioden entsprechenden Töne *c*, *G* und *C* ganz laut und kräftig neben diesem g'' zu hören.

Auf einer andern noch gröfseren Scheibe von 70 Ctm. Durchmesser, disponirte ich sieben Kreise von 192 gleichabstehenden Löchern, welche 96, 64, 48, 32, 24, 16 und 12 Mal periodisch an Gröfse zu- und abnahmen. Eine ganze Periode auf dem ersten bestand also nur in zwei verschieden grofsen Oeffnungen, und der Ton der Perioden auf demselben war also blofs um eine Octave tiefer als der Ton der 192 Löcher, während auf dem siebenten Kreise jede Periode von 16 Oeffnungen gebildet wurde und der Ton der Perioden folglich vier Octaven tiefer war als der Ton der 192 Löcher; trotz dieser sehr grofsen Verschiedenheit in der Anzahl der primären Impulse, welche die einzelnen Perioden auf diesen verschiedenen Kreisen zusammensetzten, gingen sie dennoch alle in gleicher Weise, wenn ihre Anzahl grofs genug geworden war, in einen Ton über und liefsen, wenn man die Kreise der Reihe nach vom siebenten bis zum ersten anblies, neben dem immer gleichen hohen Ton, laut und deutlich den tiefen Ton in der abwechselnden Folge von Quarte und Quinte hören.

Obgleich solche Reihen isolirter Impulse von periodisch wechselnder Intensität also eine grofse Aehnlichkeit mit schwebenden Zusammenklängen zeigen, was die Möglichkeit anlangt die einzelnen Intensitätsmaxima in einem Ton übergehen zu lassen, so sind sie doch von letzteren sehr verschieden. Würde z. B. eine Reihe 96 isochroner, sechszehnmal an Intensität zu- und abnehmender Impulse, ge-

nau den Zusammenklang zweier Töne, welche 16 Stöſse hören lassen, darstellen, so müſsten die beiden primären Töne, welche diesen Zusammenklang bilden, also hier 88 und 104, zwei Töne im Intervalle von 11 : 13, vernehmbar werden; man kann sie aber in Wirklichkeit nicht hören. Der Grund hiervon dürfte wohl darin zu suchen seyn, daſs zwei dem Einklange nahe Töne, deren Schwingungszahlen *a* und *b*, beim Zusammenklange zwar periodisch an Intensität zu- und abnehmende Schwingungen von nahezu $\frac{a+b}{2}$ erzeugen, daſs aber bei jedem Uebergange der einen Periode zu der andern, ein Zeichenwechsel vor sich geht, so daſs die Compressionsmaxima der mittleren Schwingungen nur in den ungeraden Perioden isochron sind, in den geraden Perioden aber die Dilatationsmaxima an ihre Stelle treten.

Ich habe versucht auf zwei verschiedene Weisen vermittelst primärer Impulse diesen Vorgang annähernd nachzubilden, und zwar erstens, indem ich die resultirenden Compressionen aller auf einanderfolgenden Schwingungen des Zusammenklanges auf demselben Kreise einer Sirenenscheibe durch Löcher von passender Gröſse darstellte. Der Zusammenklang zweier Töne von 80 und 96 Doppelschwingungen erzeugt einen Ton von $\frac{80+96}{2}=88$ Schwingungen, mit 16 Mal zu- und abnehmender Intensität, und bei jedem Uebergange des eines Stoſses zum anderen bewirkt der Zeichenwechsel, daſs das Compressionsmaximum der ersten Schwingung der folgenden, von dem Compressionsmaximum der letzten Schwingung der vorhergehenden Schwebung, um eine halbe Schwingung weiter absteht. Ich theilte also den Kreis in 176 Theile, und bohrte in den Theilpunkten 1, 3, 5, 7 und 9 fünf an Gröſse zu- und wieder abnehmende Löcher, ebenso in den Theilpunkten 12, 14, 16, 18 und 20, ferner in den Theilpunkten 23, 25, 27, 29 und 31, u. s. f. Wurde nun ein solcher Löcherkreis durch eine Röhre vom Durchmesser der gröſsten Oeffnung angeblasen, so konnte man

in der That neben dem Tone 88 und dem sehr kräftigen Tone der Perioden 16 die beiden Töne 80 und 96 wahrnehmen, doch waren sie sehr schwach und besonders wegen der starken Rauhigkeit des tiefen Tones ziemlich schwer zu beobachten.

Durch die zweite Disposition suchte ich den Phasenwechsel der Schwingungen beim Uebergange von einer Schwebung zur andern direct nachzuahmen. Ich theilte zu diesem Zwecke zwei nahe nebeneinander laufende concentrische Kreise in 88 Theile und disponirte die Oeffnungen, welche die aufeinanderfolgenden Schwebungen darstellen sollten, abwechselnd auf beiden. Da bei 88 Löchern und 16 Perioden auf jede der letzteren $5\frac{1}{2}$ Löcher gekommen wären, so nahm ich immer zwei Perioden zusammen und durchbohrte also auf dem ersten Kreise die Theilpunkte 1, 2, 3, 4, 5, 6, und auf dem zweiten 6, 7, 8, 9, 10, 11, dann wieder auf dem ersten Kreise die Theilpunkte 12, 13, 14, 15, 16, 17 und auf dem zweiten 17, 18, 19, 20, 21, 22 usw. fort. Wurden diese beiden Löcherkreise nun zugleich durch zwei Röhren vom Durchmesser der gröfsten Oeffnungen auf demselben Radius, der eine von oben, der andere von unten angeblasen, so entstand bei jedem Umlauf der Scheibe eine Reihe von 88 isochronen, 16 Mal periodisch die Intensität wechselnden Impulse, welche beim jedesmaligen Uebergange von einer zur andern Intensitätsperiode die Zeichen wechselten. Bei diesem Experimente traten dann die beiden Töne 80 und 96 sehr viel deutlicher hervor als bei dem vorherbeschriebenen mit dem von einer Seite angeblasenen Löcherkreise, welcher die unter einander um eine halbe Schwingungsdauer verschobenen Löcherperioden trug.

Es bleibt mir schliefslich noch zu erwähnen, dafs Tyndall die geringe Intensität der resultirenden Töne als Beweis dafür angeführt hat, dafs sie nicht durch Stöfse der primären Töne entstanden seyn können (*On sound* III, 350). Nachdem er auseinandergesetzt, dafs der Ton, wenn zwei gleich starke Töne Stöfse geben,

immer periodisch vom Aufhören zu einer doppelt so grofsen Amplitude übergeht, als sie jeder der primären Töne einzeln hatte, sagt Tyndall wörtlich: „Wenn also die resultirenden Töne von den Stöfsen der primären gebildet würden, so müfsten sie auch gehört werden, wenn die primären schwach sind, aber sie werden nicht unter diesen Umständen gehört.“ Nun würden allerdings Stofstöne immer eine gröfsere Intensität haben müssen als ihre primären Töne, wenn gleiche Schwingungsamplituden auch für alle Töne immer gleiche Intensitäten hervorbrächten, dieses ist jedoch nicht der Fall, wie sich durch ein sehr einfaches Experiment sofort nachweisen läfst. Entfernt man eine Stimmgabel *c*, während sie mit einer bestimmten Amplitude von etwa 1 Mm. schwingt, so weit vom Ohre, dafs ihr Ton verschwindend schwach gehört wird, und man macht darauf dasselbe Experiment mit einer zweiten Gabel *c'*, welche Zinken von gleicher Dicke und Breite hat, während sie ebenfalls mit 1 Mm. Amplitude vibrirt, so findet man, dafs man sie etwa doppelt so weit vom Ohre entfernen mufs, um dieselbe Wirkung auf dasselbe zu erhalten und es geht daraus hervor, dafs der Ton *c'* bei gleicher Schwingungsweite etwa viermal so stark ist als der Ton *c*. Sucht man darauf den beiden Gabeln solche Schwingungsweiten zu geben, dafs sie bei gleicher Entfernung vom Ohre etwa die gleiche Wirkung auf dasselbe hervorbringen, so findet man wieder, dafs die Amplitude der Gabel *c* etwa viermal so grofs seyn mufs als die der Gabel *c'*. Hiernach würden also z. B. die Amplituden zweier gleich starken Töne im Intervall der Quinte, 9 und 4 seyn müssen, und die Summe dieser Amplituden wäre dann 13, der resultirende Ton aber, welcher um eine Octave tiefer ist als der Grundton des Quintenintervalles, würde schon die Schwingungsweite 36 erfordern um nur dieselbe Intensität zu erlangen als die primären Töne einzeln haben.

Ist das Intervall der primären Töne noch enger, so fällt der Stofston noch tiefer und mufs daher noch schwä-

cher werden im Verhältnifs zu der Intensität der primären Töne. Es versteht sich von selbst, dafs ich weder diese hier angegebenen Experimente, noch auch die Zahlen im Beispiele für ganz genau ausgeben will; aber sie sind es im genügenden Maafse um zu zeigen, worauf es mir hier allein ankam, dafs tiefe Töne weit gröfsere Schwingungsweiten haben müssen als hohe, wenn sie diesen letzteren an Intensität gleich kommen sollen. Auf genauere Untersuchungen über die Intensität verschieden hoher Töne hoffe ich in nicht zu langer Zeit zurückkommen zu können.

Die hauptsächlichsten Resultate der im Vorstehenden mitgetheilten Untersuchungen sind also kurz zusammengefafst die folgenden:

1) Die Anzahl der Stöfse zweier Töne n, n' ist immer gleich dem positiven und dem negativen Reste der Division $\frac{n'}{n}$, d. h. gleich den Zahlen m, m', die man erhält indem man setzt $n' = hn + m = (h + 1)n - m'$, wo n, n' die Anzahl der Doppelschwingungen und h der Quotient der Division ist, welche den Rest m giebt. Die Sache verhält sich daher so als wenn die Stöfse von den zwei Obertönen h und $h + 1$ des tiefen Tones n, zwischen welche der höhere Ton n' fällt, herrührten. Die Ursache der Stofstöne ist einfach die periodische Coincidenz der gleichartigen Maxima der beiden Wellenzüge.

2) Die Stöfse der rein harmonischen Intervalle können noch mit den Verhältnissen 1 : 8 und selbst 1 : 10 gehört werden, und lassen sich wie die Stöfse des Einklanges als direct aus der Composition der Schwingungen der primären Töne entstandene betrachten, ohne Hülfe resultirender Zwischentöne, deren Existenz sich nicht nachweisen läfst.

3) Sowohl die Stöfse m, als auch die Stöfse m', nicht nur der Intervalle $n : n + m$, sondern auch der Intervalle $n : hn + m$ ($h = 2, 3, 4$), gehen bei genügender Intensität

der primären Töne und hinreichender Anzahl in Stofstöne über.

II. 4) Wenn die beiden Stofstöne *m* und *m'* nahe dem Einklange, der Octave und Duodecime sind, so lassen sie dieselben Stöfse hören, welche zwei gleiche primäre Töne geben würden. Diese Stöfse der Stofstöne habe ich zum Unterschiede von den aus primären Tönen entstandenen Stöfsen, secundäre Stöfse genannt.

5) Bei genügender Intensität der sie bildenden Stofstöne und genügender Anzahl, gehen diese secundären Stöfse wieder in einen secundären Stofston über, wie primäre Stöfse in einen primären Stofston übergehen.

III. 6) Die Differenztöne und Summationstöne, welche beim Zusammenklange zweier starker Töne entstehen, weil die Schwingungen dieser nicht unendlich klein sind, bilden eine von den Stöfsen und Stofstönen unabhängige Erscheinung. Sie sind aufserordentlich viel schwächer als die Stofstöne.

IV. 7) Die Stöfstöne lassen sich nicht durch die Ursache der Differenztöne und Summationstöne erklären, da ihre Schwingungszahlen in vielen Fällen andere sind, als diese Ursache erfordern würde.

8) Die Hörbarkeit der Stöfse hängt allein von ihrer Anzahl und von der Intensität der primären Töne ab, und ist unabhängig von der Weite des Intervalles.

9) Die Anzahl der Stöfse und primären Impulse, bei welcher beide noch als gesonderte Impulse empfunden werden können, ist dieselbe.

10) Neben den als gesonderte Impulse wahrnehmbaren Stöfsen, wie neben den in gleicher Weise vernommenen primären Impulsen, ist der Ton, der ihrer Anzahl zukommt, hörbar.

11) Die Zahl, bei welcher Stöfse und primäre Impulse in einen Ton übergehen können, ist dieselbe.

12) Wie Stöfse und primäre Impulse, können auch Intermittenzen eines Tones in einen Ton übergehen.

13) Wenn die Schwingungen eines Tones periodisch

an Intensität zu- und abnehmen, so gehen die periodischen Schwingungsmaxima bei genügender Anzahl auch in einen Ton über.

14) Der Stofston, welcher durch zwei primären Töne gebildet wird, mufs immer schwächer seyn als diese, obgleich einzelne Stöfse stärker sind, als die sie bildenden Töne.

Paris, December 1875.

II. *Die Reibungsconstanten einiger Salzlösungen und ihre Beziehungen zum galvanischen Leitungsvermögen; von O. Grotrian.*

(Schlufs von Seite 146.)

In der folgenden Tabelle sind die gemachten Beobachtungen enthalten. Ueber jeder Reihe zusammengehöriger Zahlen ist der Name des gelösten Salzes, ferner die Schwingungsdauer sowie das logarithmische Decrement ε_0 für Luft (letzteres in Brigg'schen Logarithmen) angegeben. Die erste Columne enthält unter p den Prozentgehalt, d. h. die Gewichtsmenge wasserfreien Salzes in 100 Gewichtstheilen der Lösung. Unter ϱ ist das specifische Gewicht bezogen auf Wasser von 4^0, unter τ die Temperatur, bei welcher es bestimmt wurde, angegeben. In der 4. Columne unter t befinden sich die Temperaturen, bei denen das logarithmische Decrement für die Flüssigkeit bestimmt wurde. Sämmtliche Temperaturangaben beziehen sich auf die 100-theilige Skala. Die 6. Columne giebt unter ε die Decremente selbst in Brigg'schen Logarithmen; die in Klammer neben ε gesetzte Zahl bezeichnet die Zahl der Amplituden, aus denen ε berechnet wurde. Unter $\varepsilon - \varepsilon_0$ ist die Differenz der Decremente für Flüssigkeit und Luft enthalten. Der Umstand, dafs diese in einigen Fällen um eine Einheit der vierten Decimale falsch zu seyn scheint, hat seinen Grund

darin, daſs die Rechnungen mit 5 Ziffern ausgeführt sind. Die 7. Columne giebt die Werthe ϱ_t des specifischen Gewichtes für die Temperatur der Flüssigkeit, bei der ε bestimmt wurde, also für die Temperatur in der 4. Verticalreihe. Die Columnen 8 bis 11 enthalten dieselben Gröſsen wie 4 bis 7 für andere Temperaturen.

Tabelle I.

Chlornatrium			$T_0 = 6{,}139$	$\varepsilon_0 = 0{,}0009$			$T_0 = 6{,}158$	$\varepsilon_0 = 0{,}0009$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
p	ϱ	τ	t	ε	$\varepsilon - \varepsilon_0$	ϱ_t	t	ε	$\varepsilon - \varepsilon_0$	ϱ_t
0,00			7°,54	0,0405 (14)	0,0396		16°,07	0,0357 (26)	0,0347	
4,97	1,0345	17°,3	8°,32	417 (28)	408	1,0365	14°,74	382 (28)	373	1,0351
15,00	1,1091	16°,9	7°,94	486 (12)	478	1,1125	14°,41	443 (18)	433	1,1101
23,86	1,1792	17°,5	7°,87	590 (14)	582	1,1837	14°,55	535 (28)	526	1,1807
			$T_0 = 6{,}175$	$\varepsilon_0 = 0{,}0012$						
0,00			21°,50	0,0335 (20)	0,0322					
4,97			22°,03	348 (20)	336	1,0332				
15,00			21°,99	405 (16)	393	1,1071				
23,86			21°,30	491 (14)	479	1,1772				
Chlorkalium.			$T_0 = 6{,}144$	$\varepsilon_0 = 0{,}0009$			$T_0 = 6{,}168$	$\varepsilon_0 = 0{,}0009$		
0,00			8°,42	0,0402 (46)	0,0393		15°,53	0,0361 (32)	0,0352	
9,93	1,0636	17°,1	6°,10	410 (44)	401	1,0648	15°,62	362 (46)	354	1,0639
20,95	1,1409	17°,1	6°,10	419 (44)	410	1,1422	16°,00	375 (32)	366	1,1411

Chlorcalcium.				$T_0 = 6,144$	$\varepsilon_0 = 0,0008$			$T_0 = 6,164$	$\varepsilon_0 = 0,0010$	
0,00			8°,32	0,0400 (40)	0,0392		17°,44	0,0351 (21)	0,0341	
5,00	1,0411	17°,3	7°,92	437 (28)	429	1,0422	15°,91	389 (40)	379	1,0413
19,93	1,1790	17°,5	7°,93	610 (21)	602	1,1803	15°,92	549 (44)	539	1,1793
29,81	1,2824	17°,2	8°,04	884 (38)	876	1,2838	16°,67	775 (32)	765	1,2825
35,2	1,3443	18°,0	8°,13	0,1205 (38)	0,1197	1,3459	16°,35	0,1054 (28)	0,1044	1,3445
				$T_0 = 6,146$	$\varepsilon_0 = 0,0009$			$T_0 = 6,172$	$\varepsilon_0 = 0,0010$	
0,00			8°,96	0,0397 (46)	0,0388		15°,09	0,0364 (44)	0,0354	
9,98	1,0853	17°,1	7°,29	498 (40)	490	1,0865	15°,66	435 (44)	424	1,0855
25,38	1,2350	17°,0	7°,78	733 (40)	724	1,2363	14°,34	665 (40)	654	1,2355
Chlormagnesium.				$T_0 = 6,160$	$\varepsilon_0 = 0,0008$			$T_0 = 6,169$	$\varepsilon = 0,0009$	
0,00			15°,16	0,0360 (42)	0,0352		18°,32	0,0345 (40)	0,0336	
4,51	1,0377	16°,5	14°,39	411 (42)	403	1,0380	18°,37	387 (42)	378	1,0374
19,83	1,1751	16°,7	14°,50	692 (32)	683	1,1755	18°,69	647 (22)	637	1,1747
33,6	1,3174	17°,8	14°,38	0,1672 (34)	0,1663	1,3181	18°,30	0,1553 (28)	0,1544	1,3172
Chlorbaryum.				$T_0 = 6,128$	$\varepsilon_0 = 0,0010$			$T_0 = 6,168$	$\varepsilon_0 = 0,0009$	
0,00			2°,23	0,0443 (50)	0,0433		14°,64	0,0368 (48)	0,0359	
5,25	1,0473	15°,8	2°,34	460 (28)	450	1,0483	15°,80	376 (30)	367	1,0473
15,08	1,1488	16°,5	2°,47	505 (44)	495	1,1500	15°,66	426 (44)	416	1,1489
23,56	1,2511	15°,7	2°,61	564 (40)	554	1,2523	14°,93	481 (42)	471	1,2512

Schwefels. Magnesia. $T_0 = 6{,}182$ $\varepsilon_0 = 0{,}0009$ $T_0 = 6{,}192$ $\varepsilon_0 = 0{,}0009$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
p	ϱ	τ	t	ε	$\varepsilon - \varepsilon_0$	ϱ_t	t	ε	$\varepsilon - \varepsilon_0$	ϱ_t
0,00			21°,89	0,0329 (38)	0,0320		24°,56	0,0318 (52)	0,0308	
4,70	1,0465 1,0449	20°,69 26°,43	21°,87	387 (54)	378	1,0462	24°,99	372 (50)	363	1,0453
9,96	1,1031 1,1014	20°,74 25°,47	21°,77	479 (54)	470	1,1027	25°,86	454 (48)	444	1,1013
14,80	1,1581 1,1563	20°,45 25°,48	21°,68	601 (46)	592	1,1577	25°,97	565 (44)	556	1,1561

Schwefels. Zinkoxyd. $T_0 = 6{,}149$ $\varepsilon_0 = 0{,}0008$ $T_0 = 6{,}166$ $\varepsilon_0 = 0{,}0010$

0,00			9°,79	0,0391 (46)	0,0383		15°,56	0,0359 (38)	0,0349	
1,44	1,0140 1,0132	14°,70 19°,28	9°,46	407 (44)	399	1,0149	13°,77	382 (46)	372	1,0142
3,67	1,0378 1,0370	14°,70 19°,13	9°,50	431 (48)	423	1,0387	14°,31	405 (32)	395	1,0377
7,41	1,0794 1,0784	14°,53 19°,13	9°,55	481 (46)	473	1,0805	14°,42	450 (42)	440	1,0794

			$T_0 = 6,151$	$\varepsilon_0 = 0,0008$			$T_0 = 6,168$	$\varepsilon_0 = 0,0012$		
0,00			9°,60	0,0391 (44)	0,0382		15°,31	0,0360 (40)	0,0348	
11,08	1,1215 1,1205	14°,92 19°,13	9°,12	547 (40)	539	1,1229	13°,56	510 (44)	498	1,1218
14,85	1,1677 1,1664	14°,63 19°,28	9°,22	628 (48)	619	1,1692	13°,90	584 (40)	572	1,1679
22,61	1,2716 1,2701	15°,07 19°,59	9°,31	887 (42)	879	1,2735	14°,39	814 (38)	802	1,2718

			$T_0 = 6,167$	$\varepsilon_0 = 0,0009$			$T_0 = 6,180$	$\varepsilon_0 = 0,0010$		
0,00			15°,04	0,0362 (38)	0,0352		21°,58	0,0330 (38)	0,0320	
19,61	1,2298 1,2285	15°,12 19°,52	15°,23	691 (34)	682	1,2298	21°,77	626 (36)	616	1,2278
29,75	1,3795 1,3779	15°,21 19°,38	15°,34	0,1189 (34)	0,1180	1,3795	21°,43	0,1053 (32)	0,1043	1,3771

Die verschiedenen Temperaturen der Flüssigkeiten sind durch die Zimmerwärme hervorgebracht, welche durch Heizen des Ofens gelegentlich erhöht wurde. Eine Erwärmung der Flüssigkeit in einem Bade war nicht wohl anwendbar, da die Abkühlung der Oberfläche störende Strömungen hätte hervorrufen müssen.

Jede Beobachtungsreihe enthält in der ersten Horizontalreihe, dem Procentgehalt 0,00 entsprechend, Bestimmungen für destillirtes Wasser. Dasselbe wurde vor jeder Beobachtung bis zum Sieden erhitzt, so dafs alle absorbirte Luft ausgetrieben wurde, und dann abgekühlt. Die Wasserbeobachtungen stellte ich gleichzeitig an, weil ich von vorn herein nicht wufste, ob das Trägheitsmoment des Apparates, der ja aus drei an einander gehängten Stücken besteht, an dem einzelne Theile, wie der Spiegel und die Gegengewichte *g g*, zufällige Verschiebungen erleiden können, während der ganzen Dauer der Versuche genügend constant bleiben würde. Wäre dieses nicht der Fall gewesen, so wollte ich, von absoluten Einheiten für die Reibungsconstante ganz absehend, deren Werth einfach auf den des ausgekochten destillirten Wasser beziehen, also dessen Reibungsconstante bei einer bestimmten Temperatur gleich 1 setzen. Die für Wasser gefundenen Werthe der Reibungsconstante zeigen indessen eine so regelmäfsige Abnahme mit der Temperatur, dafs ich, von der anfangs beabsichtigten Reduction der Werthe auf den von Wasser Abstand nehmend, die Reibungsconstante in absoluten Einheiten zu berechnen versucht habe. Aus der folgenden Tabelle ist jene regelmäfsige Abnahme zu ersehen. Die erste Columne enthält die Temperatur, die zweite unter η die Reibungsconstante von Wasser, berechnet auf die im Folgenden angegebene Weise.

t	η	t	η	t	η
2°,23	0,02340	15°,04	0,01508	17°,44	0,01411
7°,54	1935	15°,09	1516	18°,32	1366
8°,32	1888	15°,16	1503	21°,50	1250
8°,42	1900	15°,31	1473	21°,58	1236
8°,96	1848	15°,47	1484	21°,89	1233
9°,60	1793	15°,53	1505	22°,23	1218
9°,79	1794	15°,56	1477	22°,45	1209
14°,64	1565	16°,07	1467	24°,37	1153
				24°,56	1138

Die Beobachtungen in Tabelle I sind zur Berechnung der Reibungsconstanten nach der Formel für η Seite 141 benutzt. Dieselben sind in der dritten und siebenten Columne von Tabelle II unter η_1 enthalten. Die erste Columne giebt unter p den Procentgehalt, die zweite und fünfte unter t die Temperatur der Flüssigkeit an.

Tabelle II.

Chlornatrium.

1 p	2 t	3 η_1	4 η	5 t	6 η_1	7 η
4,97	8°,32	0,02076	0,01989	14°,74	0,01720	0,01641
15,00	7°,94	2674	2569	14°,41	2183	2092
23,86	7°,87	3785	3643	14°,55	3069	2951
4,97	22°,03	1384	1316			
15,00	21°,99	1782	1702			
23,86	21°,30	2417	2320			

Chlorkalium.

9,93	6°,10	0,01940	0,01856	15°,62	0,01498	0,01426
20,95	6°,10	1901	1818	16°,00	1498	1426

Chlorcalcium.

5,00	7°,92	0,02280	0,02187	15°,91	0,01766	0,01686
9,98	7°,29	2878	2766	15°,66	2131	2042
19,93	7°,93	4096	3943	15°,92	3239	3115
25,38	7°,78	5733	5525	14°,34	4618	4448
29,81	8°,04	8287	7993	16°,67	6199	5976
35,2	8°,13	0,1557	0,1503	16°,35	0,1153	0,1113

Chlormagnesium.

4,51	14°,39	0,02008	0,01922	18°,37	0,01762	0,01682
19,83	14°,50	5328	5134	18°,69	4600	4430
33,6	14°,38	3324	0,3211	18°,30	0,2803	0,2707

Chlorbaryum.

1 p	2 t	3 η_1	4 η	5 t	6 η_1	7 η
5,25	2°,34	0,02575	0,02474	15°,80	0,01641	0,01565
15,08	2°,47	2786	2677	15°,66	1986	1900
23,56	2°,61	3244	3120	14°,93	2301	2207

Schwefelsaure Magnesia.

4,70	21°,87	0,01740	0,01661	24°,99	0,01599	0,01524
9,96	21°,77	2587	2485	25°,86	2304	2210
14,80	21°,68	3992	3843	25°,97	3495	3393

Schwefelsaures Zinkoxyd.

1,44	9°,46	0,02019	0,01932	13°,77	0,01742	0,01663
3,67	9°,50	2227	2135	14°,31	1924	1840
7,41	9°,55	2697	2591	14°,42	2310	2216
11,08	9°,12	3395	3266	13°,56	2875	2763
14,85	9°,22	4363	4201	13°,90	3687	3548
19,61	15°,23	5067	4882	21°,77	4087	3935
22,61	9°,31	8413	8115	14°,39	6909	6662
29,75	15°,34	0,1467	0,1416	21°,43	0,1120	0,1081

Die O. E. Meyer'sche Theorie der Reibungsversuche mit der schwingenden Scheibe ist streng gültig nur für eine unendlich grofse Scheibe. Es wird dabei nämlich die Reibung vernachlässigt, welche die mit der Scheibe schwingenden Flüssigkeitsschichten erleiden an den Wänden eines verticalen Hohlcylinders der Flüssigkeit, dessen Innenfläche den Rand der Scheibe an ihrem ganzen Umfange berührt. Da diese vernachlässigte Reibung einen um so kleineren Bruchtheil der gesammten Reibung in der Flüssigkeit bildet, je gröfser die Scheibe ist, so gilt für kleine Scheiben die Theorie nicht genau. Dem wahren Werth der Reibungsconstante wird man sich indessen um so mehr nähern, je gröfser der Scheibenradius ist.

O. E. Meyer wandte bei seinen Versuchen Scheiben von 50‴ bis 95‴ (Par.), d. h. von 113 bis 214 Mm. Durchmesser an. Eine Scheibe von dem geringen Durchmesser

von 60 Mm. war ich anzuwenden genöthigt, weil die vorhandenen Mengen der Flüssigkeiten, deren galvanisches Leitungsvermögen früher untersucht war, für eine gröfsere Scheibe nicht hinreichend waren, und doch die Identität der Flüssigkeit, deren galvanisches Leitungsvermögen und Reibungsconstante ermittelt wurde, wünschenswerth erscheint.

Daher habe ich versucht, empirisch eine Correction an den $\eta_{,}$ anzubringen. Dieses geschah durch Anwendung der gröfseren Scheibe, mit welcher ich an destillirtem Wasser und drei verschieden concentrirten Lösungen von schwefelsaurer Magnesia, die in gröfseren Mengen hergestellt waren, die Reibungsconstante bestimmte. Das dabei benutzte Gefäss besitzt einen Durchmesser von 18 Ctm. Dasselbe wurde bis zu einer Höhe von 5 Ctm. mit Flüssigkeit gefüllt. Die folgende Tabelle zeigt das Resultat dieser Beobachtungen.

p	t	η	t	η
0,00	22°,45	0,01209	24°,37	0,01153
4,70	21°,80	1666	23°,36	1595
9,96	21°,72	2475	23°,74	2362
14,80	21°,56	3873	24°,59	3525

Die Reibungsconstanten, die hier durch η bezeichnet sind, kommen jedenfalls dem wahren Werthe näher als die früheren $\eta_{,}$. Dieselben drei Lösungen von schwefelsaurer Magnesia sind auch, wie aus S. 244 zu ersehen ist, mit der kleineren Scheibe untersucht, wobei sich gröfsere Werthe der Reibungsconstanten ergaben, ein Resultat, welches die Theorie erwarten läfst. Aus den mit der grofsen und kleinen Scheibe ermittelten Zahlen sind deren Werthe η und η_1 für die Temperatur 23° linear interpolirt und in der folgenden Tabelle neben einander gestellt.

p	η_1	η	$\eta_1 - \eta$
0,00	0,01257	0,01193	0,00064
4,70	1689	1611	078
9,96	2502	2403	099
14,80	3839	3708	131

Auf diese Weise erhält man für 4 verschieden grofse η_1 die zugehörige Correction $\eta_1 - \eta$ (s. letzte Columne), welche von η_1 subtrahirt auf eine kleinere, dem wahren Werthe näher kommende Reibungsconstante führen. Zu einem beliebigen mit der kleineren Scheibe ermittelten η_1 kann man demnach aus der vorigen Tabelle die Correction $\eta_1 - \eta$ interpoliren. Dieses ist in der That geschehen und die so erhaltenen Werthe sind in der 4. und 7. Columne der Tab. II (S. 243), unter η angegeben [1]). Allerdings ist bei einigen Concentrationen der Lösungen von $CaCl_2$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $ZnSO_4$ die Correction an ein η_1 angebracht, dessen Werth weit gröfser ist als das gröfste für schwefelsaure Magnesia beobachtete η_1. Empirisch war hier indessen die Correction nicht zu ermitteln, da ein gröfseres Decrement als das der zähesten $MgSO_4$-Lösung sich wegen zu rascher Abnahme der Schwingungen bei Anwendung der grofsen Scheibe nicht bestimmen liefs.

Beziehungen zum galvanischen Leitungsvermögen.

Aus den Zahlen der Tab. II, S. 243 sind die Reibungsconstanten für die Temperatur 18° durch lineare Interpolation berechnet, ferner die Zunahmen des reciproken Werthes der Reibungsconstanten $\frac{1}{\eta}$ für 1° Temperaturerhöhung. Im Gegensatz zur „Zähflüssigkeit" oder „Viscosität" η könnte man $\frac{1}{\eta}$ als die „Dünnflüssigkeit" oder „Fluidität" bezeichnen [2]). Jene Zunahmen für 1° sind durch die

1) Eine nochmalige Durchsicht der übrigens stets zwei Mal ausgeführten Rechnungen liefs mich leider einen Fehler entdecken. Statt des Werthes 0,03708 (siehe die letzte Tabelle, Columne η, vierte Horizontalreihe) ist für die Berechnung der zugehörigen Correction die Zahl 0,03695 benutzt. Eine Umrechnung habe ich wegen der Umständlichkeit der übrigen Rechnungen unterlassen. Die so entstandene Ungenauigkeit entspricht 0°,1 Temperaturfehler, dürfte indessen für das Gesammtresultat der Arbeit von keinem Belang seyn.

2) Letztere Benennung wird bereits von Kämtz angewandt. Siehe diese Annal. Bd. 70, S. 74—75.

Fluidität bei 18° dividirt. Statt für die Reibungsconstante selbst habe ich für deren reciproken Werth die Temperaturzunahme ermittelt, weil dieser wegen seines Wachsens mit der Temperatur dem galvanischen Leitungsvermögen eher zu entsprechen scheint. Bezeichnet $\eta_1\ \eta_2\ \eta_{18}$ die Reibungsconstante einer Flüssigkeit bei der Temperatur $t^0{}_1\ t^0{}_2$ 18°, so ist der oben genannte Temperaturcoëfficient gleich

$$\frac{\eta_1-\eta_2}{t_2-t_1}\cdot\frac{\eta_{18}}{\eta_1\cdot\eta_2}=\left(\frac{\Delta\left(\frac{1}{\eta}\right)}{\Delta t}\,\eta\right)_{18}.$$

Die Werthe desselben sind in der folgenden Tab. III in Columne 6 enthalten, die 2. giebt die Reibungsconstanten multiplicirt mit 10^5 bei 18° an, während die Zahlen in der ersten den Procentgehalt der Flüssigkeit bezeichnen. Die Temperatur 18° ist gewählt, weil sich auf diese die Angaben für das galvanische Leitungsvermögen und dessen Zunahme mit der Temperatur beziehen, wie sie von Kohlrausch und mir ermittelt sind. Bei Zinkvitriol, dessen Leitungsfähigkeit in seiner Abhängigkeit von Concentration und Temperatur von Beetz[1]) zum Gegenstand einer eingehenden Experimentaluntersuchung gemacht ist, habe ich statt 18° die Temperatur 15° gewählt, weil diese sich besser den äufsersten Temperaturen meiner Beobachtungen anpafst.

In der dritten Columne sind die galvanischen Leitungsvermögen multiplicirt mit 10^8 resp. 10^9 für 18° angegeben nach den Bestimmungen von Kohlrausch und mir[2]), ferner in Columne 7 unter $\left(\frac{dk}{dt}\ \frac{1}{k}\right)_{18}$ die Zunahme der Leitungsfähigkeit für 1° bei 18° in Theilen der Leitungsfähigkeit bei 18°.

Für Zinkvitriol sind mittelst der Interpolationsformel von Beetz

$$l_{20}=a+bp-cp^2+dp^3$$

(siehe Seite 19 l. c.) zunächst die Leitungsfähigkeiten l_{20} bei 20° für meine Procentgehalte berechnet (für 19,61 Proc.

1) Diese Annalen Bd. 117, S. 1.
2) Diese Annalen Bd. 154, S. 216.

war dieses zufällig nicht nöthig, da dieselbe Concentration auch von Beetz untersucht ist). Aus den Seite 22 l. c. unter „gefunden“ enthaltenen Zunahmen der Leitungsfähigkeit für 1° habe ich dann die meinen Concentrationen entsprechenden Zahlen linear interpolirt und aus diesen und den l_{20} die Leitungsvermögen bei 15° berechnet; auf diese Weise sind die Daten für die zweite und siebente Columne für Zinkvitriol gewonnen.

Das Leitungsvermögen von schwefelsaurer Magnesia ist kürzlich von Hrn. Kohlrausch bestimmt. Derselbe war so gütig mir die Zahlen dafür mitzutheilen und deren vorläufige Veröffentlichung zu gestatten; ich fühle mich genanntem Herrn dadurch zu grofsem Danke verpflichtet. Die von demselben untersuchten Concentrationen stimmen sehr nahe mit den meinigen überein. Die mitgetheilten Zahlen für das Leitungsvermögen sind mittelst einer graphischen Methode auf meine Procentzahlen reducirt.

Tabelle III.

Na Cl

1	2	3	4	5	6	7
p	$10^5 . \eta_{18}$	$10^8 . k_{18}$	$10^8 . k_{18}$ berechnet	Diff.	$\left(\frac{\Delta\left(\frac{1}{\eta}\right)}{\Delta t}\,\eta\right)_{18}$	$\left(\frac{dk}{dt}\,\frac{1}{k}\right)_{18}$
4,97	1496	625	621	+ 4	0,0309 !	0,0213
15,00	1907	1535	1562	− 27	276 !	207
23,86	2629	1974	1952	+ 22	359 !	219

Ka Cl

9,93	1318	1262	1262	± 0	0,0225	0,0186
20,95	1347	2623	2623	± 0	206	165

$CaCl_2$

1	2	3	4	5	6	7
p	$10^5 . \eta_{18}$	$10^9 . k_{18}$	$10^9 . k_{18}$ berechnet	Diff.	$\left(\frac{\Delta\left(\frac{1}{\eta}\right)}{\Delta t}\eta\right)_{18}$	$\left(\frac{dk}{dt}\frac{1}{k}\right)_{18}$
5,00	1555	601	601	± 0	0,0264	0,0209
9,98	1840	1065	1052	+ 13	282 ?	201
19,93	2899	1614	1601	+ 13	245 !	196
25,38	3847	1663	1621	+ 42	257	200
29,81	5665	1558	1516	+ 42	277	209
35,2	10350	1262	1130	+ 132	293	229

$MgCl_2$

4,51	1704	585	637	− 52	0,0318	0,0217
19,83	4549	1312	1358	− 46	336	230
33,6	27460	742	722	+ 22	406 !	300

$BaCl_2$

5,25	1416	381	386	− 5	0,0247	0,0209
15,08	1762	988	973	+ 15	204	196
23,56	1979	1415	1409	+ 6	213 ?	190

$MgSO_4$

4,70	1831	2352	2339	+ 13		
9,96	2738	3852	3897	− 45		
14,80	4229	4493	4466	+ 27		

$ZnSO_4$

p	$10^5 . \eta_{15}$	$10^9 . k_{15}$	$10^9 . k_{15}$ berechnet	Diff.	$\left(\frac{\Delta\left(\frac{1}{\eta}\right)}{\Delta}\eta\right)_{15}$	$\left(\frac{dk}{dt}\frac{1}{8}\right)_{15}$
1,44	1586					
3,67	1798					
7,41	2171	2100	2139	− 39	0,0291	0,0264
11,08	2600	2878	2947	− 69	326 ?	260
14,85	3395	3491	3498	− 7	333	263
19,61	4915	3965	3903	+ 62	370	271
22,61	6488	4052	3965	+ 87	343 ?	291
29,75	14350	3655	3635	+ 20	516 !	360

Vergleicht man die Zahlen der sechsten und siebenten Columne mit einander, so zeigt sich zunächst, *dafs die Zunahmecoëfficienten für die Fluidität durchgängig gröfser sind als die entsprechenden für das Leitungsvermögen.* Eine weitere bemerkenswerthe Erscheinung bieten beide Zahlenreihen dar, wenn man die Aenderungen betrachtet, welche $\left(\frac{\Delta\left(\frac{1}{\eta}\right)}{\Delta t}\,\eta\right)_{18}$ und $\left(\frac{dk}{dt}\,\frac{1}{k}\right)_{18}$ erleiden, wenn sich die Concentration der Flüssigkeit ändert. Es zeigt sich nämlich im Allgemeinen, *dafs der Temperaturcoëfficient der Fluidität sich mit dem Procentgehalt in nahezu gleicher Weise ändert wie der für das Leitungsvermögen.* Die Zahlen, welche eine Ausnahme von dieser Regel bilden, sind in Tabelle III mit einem Fragezeichen versehen. Diejenigen, bei denen eine besonders auffällige Uebereinstimmung eintritt, sey es dafs bei ihnen ein Minimum oder ein besonders schnelles Wachsthum stattfindet, sind mit einem Ausrufungszeichen versehen.

Bei schwefelsaurer Magnesia habe ich unterlassen, die Zahlen der sechsten und siebenten Columne anzugeben; denn die Temperaturcoëfficienten, wie sie sich durch die Beobachtung mit der grofsen und kleinen Scheibe ergaben, differiren erheblich, jedenfalls eine Folge der geringen und überdies ziemlich verschiedenen Differenz der höchsten und tiefsten Beobachtungstemperaturen.

Der Zusammenhang zwischen Leitungsvermögen und Reibungsconstante bei 18° resp. 15° läfst sich darstellen durch die Formel

$$k_{18} = c \,.\, \frac{p}{\eta^n}$$

wenn p den Procentgehalt bedeutet, c und n Constanten für die Lösungen desselben Salzes bezeichnen. Die für jedes Salz berechneten Werthe dieser Constanten sind folgende:

	$10^{11}.c$	n
Na Cl	5317	0,7513
Ka Cl	6499	0,6868
Ca Cl_2	8090	0,6483
Mg Cl_2	9345	0,6444
Ba Cl_2	5863	0,5939
Mg SO_4	4553	0,5979
Zn SO_4	5047	0,4554.

Mittelst dieser Zahlen sind die in der vierten Columne unter „berechnet" angegebenen Werthe berechnet. Die fünfte Columne enthält die Differenzen zwischen den Zahlen der dritten und vierten Columne. Daſs diese bei Ka Cl, welches nur in zwei Concentrationen untersucht wurde, gleich Null sind, ist selbstverständlich.

Die Aenderung der Reibungsconstante mit der Concentration ist in Fig. 2, Taf. III graphisch dargestellt; als Abscissen sind die Procentgehalte, als Ordinaten die Reibungsconstanten bei 18°, resp. 15° bei Zinkvitriol, aufgetragen. Die Curve für letzteres Salz ist in der Richtung der Ordinatenaxe verschoben gezeichnet, da sie sonst fast genau mit der Curve für Mg Cl_2 zusammengefallen wäre. Die Gröſse der zugehörigen Ordinaten ist aus den in Klammern beigesetzten Zahlen zu ersehen. Im Allgemeinen wachsen bei zunehmender Concentration die Reibungsconstanten erst langsam, dann bedeutend schneller, wie dieses ebenfalls die Curven von O. E. Meyer zeigen[1]).

Eine bemerkenswerthe Ausnahme bildet *Chlorkalium. Bei diesem Salze ist die Reibungsconstante nahezu constant*; *bei wachsender Concentration findet zuerst eine geringe Abnahme, dann eine Zunahme statt* [2]). Die Curve, welche das galvanische Leitungsvermögen als Function des Procentgehaltes darstellt, zeigt ebenfalls eine Abnor-

1) Diese Annalen Bd. 113, Taf. IV, Fig. 2.

2) Hübner (d. Annal. Bd. 150, S. 258) findet ebenfalls, daſs eine Ka Cl-Lösung bei wachsender Concentration mit vermehrter Geschwindigkeit durch ein Capillarrohr flieſst.

mität; *bei Chlorkalium erfolgt die Zunahme des Leitungsvermögens sehr nahe proportional dem Procentgehalte, ja dasselbe wächst sogar etwas beschleunigt mit dem Procentgehalte* [1]); die zugehörige Curve kehrt also nicht wie die übrigen ihre concave, sondern ihre convexe Seite der Coordinatenaxe zu, auf der die Procentgehalte aufgetragen sind.

Eine analoge Erscheinung zeigt das von Wiedemann gleichzeitig hinsichtlich der inneren Reibung und des galvanischen Leitungsvermögens untersuchte salpetersaure Ammoniak [2]). Die Reibungsconstante desselben nimmt mit wachsendem Procentgehalt etwas ab, während das Leitungsvermögen nur um ein weniges langsamer wächst, als genaue Proportionalität dieses verlangen würde.

Nach O. E. Meyer zeigt salpetersaures Kali ebenfalls eine geringe Abnahme der Reibungsconstante bei Vermehrung des Salzgehaltes [3]). Nach dem zuletzt Gesagten dürfte für dieses Salz eine dem Procentgehalt nahe proportionale Zunahme des galvanischen Leitungsvermögens zu erwarten seyn.

Der im Allgemeinen gleiche Verlauf der Temperaturcoëfficienten für die Fluidität und das galvanische Leitungsvermögen bei Aenderung der Concentration läſst darauf schlieſsen, daſs die Ueberwindung der inneren Reibung einen wesentlichen Theil der Arbeit ausmacht, die vom Strome beim Durchgange durch ein Elektrolyt geleistet wird.

Der Umstand, daſs die Versuche auf Temperaturcoëfficienten geführt haben, die für die Fluidität gröſser sind als für das Leitungsvermögen, läſst verschiedene Deutungen zu. Da die Versuche nicht streng der darauf angewandten Theorie genügen, so ist es möglich, daſs die

1) Diese Annal. Bd. 154, S. 232.
2) Diese Annal. Bd. 99, S. 224—225.
3) Diese Annal. Bd. 113, S. 404 und Fig. 2, Taf. IV.

gefundenen Zahlen mit einem Fehler behaftet sind, welcher eine schnellere Abnahme der Werthe mit wachsender Temperatur hervorruft, als dieses in Wahrheit der Fall ist. Es dürfte dafür der Umstand sprechen, daſs die Versuche von O. E. Meyer als Temperaturcoëfficienten $\left(\frac{\Delta \frac{1}{\eta}}{\Delta t} \eta\right)_{18}$ für destillirtes Wasser den Werth 0,0236 ergeben[1]), während meine Zahlen dafür den gröſseren Werth 0,0303 liefern. Bemerkenswerth erscheint dabei, daſs die Zahl $0{,}0236 = \frac{1}{42}$ fast genau mit dem Werth $\frac{1}{45}$ übereinstimmt, dem etwa die Temperaturcoëfficienten für die Leitungsfähigkeit der kürzlich untersuchten Chloride sich annähern, wenn man bis zum Procentgehalt Null zurück interpolirt[2]).

Uebrigens ist ohne Weiteres ein genaues Uebereinstimmen der Temperaturcoëfficienten für Fluidität und Leitungsvermögen nicht zu erwarten; denn bei ersterer handelt es sich um die Reibung, welche die unzerlegten Flüssigkeitsmolecüle bei einer gegenseitigen Verschiebung erleiden, bei letzterer dagegen kommt die Reibung in Frage, welche die in entgegengesetzter Richtung an einander vorbei bewegten Jonen, also die Theile der Salzmolecüle, zu überwinden haben. Daſs beide Arten der Reibung sich nicht in gleicher Weise mit der Temperatur zu ändern brauchen, ist unschwer einzusehen[3]).

Aendert sich die Concentration einer Salzlösung, so ändern sich damit verschiedene Eigenschaften derselben. Faſst man von diesen zunächst nur die Aenderung der Anzahl den Strom leitender Salztheilchen ins Auge, so wird in Folge derselben *allein*, der wahrscheinlichsten Annahme gemäſs, das Leitungsvermögen sich dem Procentgehalt proportional ändern. Es wächst aber auſserdem in den meisten Fällen mit der Concentration die Zä-

1) Diese Annal. Bd. 113, S. 399.
2) Diese Annal. Bd. 154, S. 229—230.
3) Siehe auch Wiedemann, Galvanismus, Bd. I, S. 633, § 437.

higkeit der Flüssigkeit; wie man annimmt, hat deren gleichzeitiger Einflufs ein verzögertes Wachsen des Leitungsvermögens mit dem Procentgehalt zur Folge. Es kann sogar das Leitungsvermögen ein Maximum erreichen, wenn der Einflufs der Zähigkeit auf das Leitungsvermögen bei niederem Procentgehalt geringer, bei hohem gröfser ist als der Einflufs, den die blofse Vermehrung der leitenden Theilchen ausübt.

Aufserdem sind aber bei Aenderung der Concentration Aenderungen in der chemischen Constitution der elektrolytischen Molecüle denkbar. Wie die Massentheilchen beschaffen sind, die in einer zersetzbaren Flüssigkeit die Elektricitäten forttragen, ob dieses durch Theilchen des wasserfreien Salzes oder durch complicirtere Molecüle, also von Salz mit daran gebundenem Wasser geschieht, weifs man nicht. Noch weniger ist bekannt, ob etwa bei verschieden concentrirten Lösungen desselben Salzes die Uebertragung der Elektricitäten durch chemisch verschiedenartige, d. h. durch ihren Wassergehalt verschiedene Molecüle erfolgt.

Bei Chlorkalium tritt nun der Fall ein, dafs das Leitungsvermögen fast genau dem Procentgehalt proportional ist (s. Seite 252). Es führt dieses zu dem Schlusse, dafs bei Chlorkalium die oben genannten hypothetischen Aenderungen in der chemischen Constitution der Molecüle nicht eintreten, *dafs also bei verschieden concentrirten Chlorkaliumlösungen von gleicher Temperatur das Leitungsvermögen nur durch den Salzgehalt nnd die Zähigkeit bedingt ist.*

Die letzten Betrachtungen führen naturgemäfs noch einen Schritt weiter. Durch die gefundenen Zahlen ist man in den Stand gesetzt, für verschieden concentrirte Lösungen eines Salzes die Temperaturen zu berechnen, für welche die Reibungsconstante irgend einen bestimmten constanten Werth hat. Zu diesen Temperaturen kann man dann die Zahlen für die Leitungsfähigkeit berechnen und

untersuchen, nach welchem Gesetz sich dieselben mit der Concentration ändern.

Diese Rechnung ist durchgeführt, so weit die engen Temperaturgränzen eine einigermaafsen sichere Interpolation der Temperatur τ für einen constanten Werth der Reibungsconstante gleich const. η gestatten. Derselbe ist über jeder der folgenden Zahlenreihen, welche zu einem bestimmten Salz gehören, angegeben. Die erste Columne enthält den Procentgehalt, die zweite die Temperatur für das constante η, die dritte unter k_τ das Leitungsvermögen bei der Temperatur τ, die vierte unter $\frac{\Delta k_\tau}{\Delta p}$ den Zuwachs des Leitungsvermögens dividirt durch den entsprechenden Zuwachs des Procentgehaltes. Die Zahlen dieser Columne stehen zwischen den p und k_τ, aus denen sie berechnet sind. Die erste Zahl der vierten Columne ist der Quotient aus dem p und k_τ der ersten Horizontalreihe, indem das Leitungsvermögen von Wasser gleich Null angenommen ist. Für Chlormagnesium und schwefelsaure Magnesia wurde die Rechnung nicht ausgeführt, da bei beiden Salzen selbst für nur zwei Concentrationen eine einigermafsen sichere Interpolation der τ nicht möglich ist.

Na Cl. const. $\eta = 0,02110$

p	τ	k_τ	$\frac{\Delta k_\tau}{\Delta p}$
4,97	6°,06	472	94,95
15,00	14°,17	1415	94,02
23,86	23°,55	2218	90,64

Ka Cl. const. $\eta = 0,01650$

9,93	10°,66	1093	110,1
20,45	11°,41	2340	113,2

$Ca\,Cl_2$. const. $\eta = 0{,}02500$

p	τ	k_τ	$\frac{\Delta k_\tau}{\Delta p}$
5,00	2°,93	419	83,80
9,98	10°,23	900	96,58
19,93	21°,85	1737	84,12

$Ba\,Cl_2$. const. $\eta = 0{,}02292$

5,25	5°,04	282	53,71
15,08	9°,00	817	54,43
23,56	13°,78	1303	57,31

$Zn\,SO_4$. const. $\eta = 0{,}03520$

11,08	6°,88	2269	204,8
14,85	14°,10	3408	302,1
19,61	24°,64	5000	334,4

Ein Ueberblick über die Zahlen der vierten Columne zeigt, *dafs dieselben für* Na Cl, Ka Cl, Ca Cl_2 *und* Ba Cl_2 *sehr nahe constant sind. Verschieden concentrirte Lösungen derselben Substanz von verschiedener Temperatur, aber gleicher Reibungsconstante, besitzen demnach bei den genannten Salzen ein Leitungsvermögen, welches dem Procentgehalt proportional ist.* Hier sind also mit der Aenderung der Concentration keine chemische Aenderungen verbunden, welche das Leitungsvermögen merklich beeinflussen könnten. Da aufserdem die Temperatur der Lösungen eine verschiedene ist, so folgt, dafs deren Einflufs auf das Leitungsvermögen nur insofern vorhanden ist, als durch die Temperatur die Zähigkeit geändert wird. *Bei den genannten Lösungen sind also die Concentration und die Zähigkeit die Hauptfactoren, welche die Gröfse des Leitungsvermögens bestimmen.*

Bei Zinkvitriol zeigt sich jene Proportionalität nicht. Hier müssen also noch andere Einflüsse als das Leitungs-

vermögen bestimmende angenommen werden. Ob nicht auch dasselbe für Chlorcalcium geschehen mufs, von welchem nur die drei niedrigsten Concentrationen in Rechnung gezogen sind, läfst sich mittelst der vorliegenden Zahlen wegen der unsichern Interpolation der Temperatur r nicht entscheiden. Es dürfte indessen von Interesse seyn, einige der genannten Salze, namentlich solche, die ein Maximum besitzen, genauer und in weiteren Gränzen hinsichtlich des Temperatureinflusses auf die Zähigkeit zu untersuchen, um auf dem zuletzt angegebenen Wege die Frage ihrer Lösung näher zu führen, von welchen Eigenschaften der Elektrolyte deren Leitungsvermögen abhängt.

In diesem Sinne beabsichtige ich die vorliegende Arbeit, die als eine orientirende Voruntersuchung anzusehen ist, zu erweitern und die Reibungsconstanten namentlich auch für die bis jetzt genauer hinsichtlich des Leitungsvermögens untersuchten Säuren zu ermitteln. Für derartige Versuche dürfte indessen der Coulomb'schen Methode gegenüber das Poiseuille'sche Ausflufsverfahren den Vorzug verdienen, da dieses die Temperatur der zu untersuchenden Flüssigkeiten sicherer zu beherrschen gestattet, als sich dieses durch die Zimmertemperatur erreichen läfst.

Darmstadt, August 1875.

III. *Bemerkungen zu einigen Abhandlungen aus dem Gebiete des Magnetismus;*
von G. Wiedemann.

In den letzten Jahren ist von verschiedenen Physikern eine Reihe von Abhandlungen über den Magnetismus veröffentlicht worden, deren Inhalt mit meinen früheren Un-

tersuchungen über denselben Gegenstand in mehr oder weniger nahem Zusammenhange steht. Abgesehen davon, daſs nicht alle Resultate, die als neu mitgetheilt wurden, wirklich noch unbekannt sind, scheinen mir auch die Ansichten über das Wesen des Magnetismus und die Einwände gegen meine Theorien, welche daraus abgeleitet wurden, nicht ganz zutreffend zu seyn. Ich erlaube mir deshalb einige kurze Bemerkungen über die betreffenden Punkte.

Schon im Jahre 1857 [1]) hatte ich durch ausgedehntere Beobachtungen nachgewiesen, daſs ein Stahl- oder Eisenstab, dem durch eine bestimmte magnetisirende Kraft ($+A$) ein gewisser permanenter Magnetismus ertheilt worden ist, bereits bei Einwirkung einer kleineren, entgegengesetzt wirkenden ($-B$) seinen permanenten Magnetismus verliert [2]), indeſs nachher sich doch ganz anders, wie ein vollkommen frischer, noch keinen magnetisirenden Kräften unterworfener Stab verhält, da er zwar durch eine in negativer Richtung wirkende Kraft, welche kleiner oder gleich $-B$ ist, keine Magnetisirung im Sinne der Wirkung der letzteren Kraft erhält, wohl aber durch die schwächsten, im positiven Sinne wirkenden Kräfte einen (positiven) Magnetismus im ursprünglichen Sinne annimmt. Auch stellen Erschütterungen den permanenten Magnetismus eines entmagnetisirenden Magnets theilweise wieder her. Herr Jamin [3]) hat diese Versuche in etwas abgeänderter Gestalt

1) Vgl. Galvanismus, 2. Aufl. Band II 1, § 312, 314 u. folgende. — Ich erlaube mir der Kürze halber, im Folgenden statt der Citate der Originalabhandlungen auf dieses Werk zu verweisen.

2) Frühere vereinzelte Beobachtungen hierüber von Abria, Ritschie, Jacobi, Marianini vgl. l. c.

3) Hrn. Jamin scheinen diese Resultate nur zum geringen Theile bekannt geworden zu seyn, obgleich sie zusammen in ein und derselben Abhandlung (Pogg. Annal. Bd. C, S. 235, 1857; auch französisch *Ann. de chim. et phys.* (3) *T. L, p.* 188; *Arch. des sc. phys. et nat. T. XXXV, p.* 39) veröffentlicht worden sind. Er sagt: (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 1798, 1873) *Mr. Wiedemann remarque qu'on peut détruire le magnétisme direct par un courant inverse moindre que le courant primitif.*

wiederholt (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 1796, 1872) und zugleich Experimente angestellt über die Magnetisirung von Magneten, die aus einzelnen magnetisirten Lamellen zusammengelegt sind. (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 1672.) Er findet, wie schon vor vielen Jahren Coulomb (Galv. 2. Bd. II, § 381) und auch Lamont (ibid. § 382) bei Bestätigung seiner magnetischen Theorie, dafs das Moment des Magnets kleiner ist, als die Summe der Momente der Lamellen, und sich bei Uebereinanderlegung vieler Lamellen endlich einem Maximum nähert, während selbstverständlich die Summe der Tragkräfte der Lamellen unverändert bleibt, wenn man sie einzeln mit Ankern versieht und darauf zusammenlegt, da dann ihre Wirkung nach aufsen aufhört. Ferner beobachtet er, dafs die Lamellen nach dem Auseinandernehmen einen schwächeren Magnetismus, als vorher, haben und nun beim erneuten Magnetisiren im ersten Sinne den früheren, beim Magnetisiren im entgegengesetzten Sinne aber einen schwächeren Magnetismus annehmen, und sich diese Erscheinung bei oftmaliger Hin- und Hermagnetisirung wiederholt. (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 1674. 1871.)

Gestützt auf diese Versuche, die ihn zu der sehr beachtenswerthen Herstellung sehr starker Magnete aus dünnen, an Eisenschuhen befestigten Stahllamellen führten,

— *On a cru jusqu' à présent que le barreau était alors ramené à l'état naturel en perdant son magnétisme primitif. Il n'en est rien, je vais prouver que ce magnétisme n'est pas détruit, mais seulement dissimulé par le magnétisme inverse, qu'on lui a superposé.* Es folgen sodann Versuche über das Verhalten eines entmagnetisirten Magnets gegen positiv und negativ gerichtete Ströme, die zu analogen Resultaten mit den meinigen führen. Auch Herr Gaugain (*Compt. rend. T. LXXVII, p.* 704) und Hr. Rowland (*Phil. Mag.* (4) *Vol. XLVIII, p.* 321) beziehen diese Resultate auf Hrn. Jamin. — Es ist überhaupt beklagenswerth, dafs gerade im Gebiete des Magnetismus die neuere Literatur so wenig beachtet und dadurch eine Menge kostbarer Zeit und Arbeitskraft Seitens einiger unserer tüchtigsten Physiker auf die Wiederholung längst bekannter Untersuchungen verwendet worden ist. Die folgenden Seiten werden leider noch manche Belege hierzu liefern müssen.

stellt Hr. Jamin eine neue Theorie der Magnetisirung auf, die zum Theil mit einer alten Anschauung von Marianini (Galv. 2, Bd. II, § 336) übereinstimmt. Danach soll die magnetisirende Wirkung, z. B. eines galvanischen Stromes, nicht direct durch Eisen und Stahl hindurchgehen (auch *Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 305, 1874), vielmehr soll sie von der Oberfläche mit abnehmender Stärke in die Tiefe eindringen, und zwar um so tiefer, je gröfser die magnetisirende Kraft ist. An der Oberfläche soll während ihrer Wirkung die oberste Schicht „übersättigt" seyn. Beim Verschwinden der magnetisirenden Kraft soll diese „Uebersättigung" aufhören und der permanente Magnetismus übrig bleiben. (*Compt. rend. T. LXXVII, p.* 1388, 1873.) So soll eine starke, also tief eindringende temporäre Magnetisirung A eine ebenso tief gehende schwächere permanente Magnetisirung $a < A$ zur Folge haben können, die dann einer weniger tief gehenden temporären Magnetisirung $B > A$ gleich seyn kann. Wirkt nach einem Strom J, der eine permanente Magnetisirung $+a$ erzeugt hat, ein schwächerer Gegenstrom $-i$, so soll dessen Wirkung wiederum weniger tief in den Magnet eindringen und in der dünneren Schicht den permanenten Magnetismus $+x$ zerstören, dafür den permanenten Magnetismus $-x$ und aufserdem einen vorübergehenden Antheil an Magnetismus $-y$ erzeugen, welcher letztere beim Oeffnen des Stromes verschwindet, so dafs die permanente Magnetisirung $a-2x$ zurück bleibt. Wegen des Verhaltens der zusammengelegten und auseinander genommenen Lamellen bei Hin- und Hermagnetisirungen soll sich die Magnetisirung erst oberflächlich entwickeln, dann beim Zusammenlegen der Lamellen durch die Abstofsung der Magnetismen derselben in die Tiefe eindringen und dort andauern, sich zu einer Magnetisirung im gleichen Sinne addiren und einer Magnetisirung im entgegengesetzten Sinne entgegenwirken. (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 1674, 1872.)

In einem Magnet sollen nun die Molecularmagnete —

welche nicht Molecularströmen ihre Eigenschaft verdanken würden, da dieselben eine elektromotorische Kraft voraussetzten, die durch sie ganz in Wärme umgewandelt würde, — lauter *gleiche* Fäden oder Ketten bilden, in denen sich die gegenüber stehenden Pole der einzelnen Molecularmagnete völlig „dissimuliren", und die deſshalb in ihrer ganzen Länge inactiv sind, mit Ausnahme ihrer Enden, wo sich je ein einzelner freier Pol vorfindet. Die Fäden gehen alle durch den mittleren Querschnitt des Magnets, den sie nicht ganz erfüllen, da sie beim Eindringen der Magnetisirung an seiner Oberfläche verdichtet sind, wo die Magnetisirung stärker ist als in der Tiefe.

An den Enden stoſsen sich die Fäden mit ihren freien Polen ab und divergiren gegen die verschiedenen Elemente der Oberfläche, woselbst auf jeder Flächeneinheit die Intensität des Magnetismus der Zahl der Pole, die Anziehung dem Quadrat derselben proportional ist. Die Gesammtzahl der Fäden (der totale freie Magnetismus) ist also proportional der Summe aller Intensitäten auf allen einzelnen Flächenelementen der einen Hälfte des Magnets.

Da alle Fäden durch den mittleren Schnitt hindurchgehen, so hängt der totale Magnetismus nur von der Ausdehnung jenes Schnittes, nicht aber von der Gröſse und Gestalt der sonstigen Oberfläche der Magnete ab. Letztere regelt dagegen die Verbreitung der Pole. Bei einer Erweiterung der Oberfläche nach den Enden des Magnets ist also die magnetische Intensität auf den einzelnen Stellen der Oberfläche klein, bei Verengung der Oberfläche (z. B. Zuspitzung des Magnets) ist sie groſs. Dabei kann indeſs die Vertheilung der Intensitäten auf einer gegebenen Oberfläche auch geändert werden, z. B. durch Reiben mit einem Eisenstab (*Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 1241. 1874). Wenn sich indeſs die Oberfläche noch mehr verkleinert, als bei einem „Normalmagnet", wo die Enden der Magnetfäden sich berühren, also nur den ihnen nöthigen Platz haben, und die Zahl der Elementarpole, die die Oberfläche aufnehmen kann, gleich der Zahl der Fäden im centralen

Querschnitte ist (*l'aimant est parfait*, *il est plein*, *Compt. rend. T. LXXX*, *pag.* 357, 1875) und das Maximum der Spannung erreicht ist, also z. B. wenn die Magnete zu kurz sind, so nimmt die Intensität auf der Oberflächeneinheit nicht bis ins Unendliche zu, der totale Magnetismus, wie er durch den mittleren Querschnitt geliefert wird, kann sich nicht mehr ausbreiten, er nimmt ab. So nähert sich z. B. wenn man mehr und mehr gesättigte Stahllamellen zusammenlegt, die Magnetisirung einem Maximum, da die freie Oberfläche nicht proportional dem Querschnitte wächst. Wird aber dann an die freien Stellen des Stahlmagnets eine Eisenmasse gelegt, so kann sich der Magnetismus entwickeln und wächst zur normalen Höhe (l. c. S. 1497). Deſshalb kann man auch bei Bewaffnung mit Eisenarmaturen von groſser Oberfläche mehr Stahllamellen zusammenlegen, ehe der Magnetismus ein Maximum erreicht; auch ist in diesem Falle der Magnetismus des mit angelegter Armatur magnetisirten Stahlmagnets gröſser, als ohne Armatur („magnetische Condensation durch den Anker"). Wird die Armatur aber abgenommen, so soll der Magnet so viel an Magnetismus verlieren, daſs er nur den seiner kleineren Oberfläche entsprechenden Magnetismus behält; daher die Verminderung der Tragkraft nach dem ersten Abreiſsen [1]). Bei den normalen Magneten soll

1) Das Verhältniſs der verschiedenen Antheile eines Magnets an temporärem, remanentem und permanentem Magnetismus ist durch Beobachtung der beim Schlieſsen und Oeffnen des magnetisirenden Stroms und Abreiſsen des Ankers in einer um den Magnet gelegten Spirale erzeugten Inductionsströme schon im Jahre 1852 durch Poggendorff (Galv. 2, Bd. II § 449); die Zunahme des Magnetismus und die Aenderung der Vertheilung desselben in einem Magnet bei Annäherung eines Eisenankers nach den Versuchen von Erman (1833) und Magnus (1836) durch van Rees (1848) (Galvanismus 2, Band II, § 410 — 413) ausführlich studirt worden. Dennoch hat Herr du Moncel (*Comptes rendus Tome LXXVII*, *pag* 113, 1873; *LXXX*, *p.* 19) gegen die HH. Gaugain (*Compt. rend. T. LXXVI*, *p.* 1582) und Lallemand (*Compt. rend. T. LXXIX*, *p.* 893) Prioritätsreclamationen erheben zu müssen geglaubt, da er die betreffenden Versuche schon in den Jahren 1857 und 1858 publicirt habe.

sich dagegen durch Anlegen von Eisenankern an die Enden zwar die Vertheilung des freien Magnetismus auf jedem einzelnen Pol ändern, indem sich die Elementarfäden in die Armaturen fortsetzen, indefs die Gesammtsumme des freien Magnetismus auf dem Stahlmagnet und dem Anker zusammen soll die gleiche seyn, wie vor Anlegen desselben. Herr Jamin betrachtet dies als ein *„fait capital“* für seine weiteren Untersuchungen. (*Compt. rend. T. LXXX, p.* 212, 357, 1875.) Hier soll dann bei wiederholtem Abreifsen des Ankers die Tragkraft sich nicht ändern, (z. B. bei Magneten aus wenig zahlreichen Lamellen, bei denen die Oberfläche im Verhältnifs zum Querschnitt grofs ist). Diese Sätze sind aus Versuchen abgeleitet, bei denen von den einzelnen Stellen verschieden langer, auch rautenförmiger Stahlmagnete und ihrer Anker ein kleiner Eisencontact abgerissen und der freie Magnetismus daselbst der Quadratwurzel der zum Abreifsen erforderlichen Gewichte proportional gesetzt wurde. Die Abweichungen der Beobachtungsresultate von den erwähnten Sätzen schiebt Hr. Jamin auf dieselbe Ursache, deretwegen ich schon früher (Galv. 2 Bd. II, § 439) die so erhaltenen Resultate als ungenau bezeichnet habe, auf die Rückwirkung des Eisencontacts auf die Vertheilung des Magnetismus im Magnet und namentlich im weichen Eisenanker. Man kann ihm daher nur beistimmen, wenn er sagt: *„cette discussion montrera, combien ces questions sont délicates et combien de fautes ont été commises“* (*Compt. rend. T. LXXX, p.* 218).

Um die Tiefe des Eindringens der Fäden zu messen, bestimmt Hr. Jamin in gleicher Weise den totalen freien Magnetismus verschiedener z. B. 1 M. langer, 50 Mm. breiter Stahlstäbe von verschiedenen Dicken, $n = 1$ bis 4 Mm. Da die Magnetismen mit der Dicke, aber langsamer als diese, steigen, so soll der Magnetismus in dicke Stahlstäbe tiefer als 3 Mm. in die Tiefe eindringen, und den Versuchsresultaten zu Folge daselbst nach dem Gesetze einer geometrischen Reihe abnehmen, so dafs der totale

Magnetismus der Formel $m = M(1 - a^{-n})$ entspricht. (*Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 1245.)

Diese „*conclusion très importante*" ist übrigens nicht neu; sie ist schon von Lamont für das Moment verschieden dicker Stahlstäbe aufgestellt, welches bei der nahe gleichen Vertheilung der freien Magnetismen ihrem totalen Magnetismus proportional seyn muſs. (Galvanismus 2, Bd. II, § 383.)

Vor der Aufstellung einer neuen Hypothese über den Magnetismus dürfte der Nachweis erforderlich seyn, daſs die älteren Hypothesen ungenügend sind, in ungezwungener Weise ohne Hinzunahme vieler Hülfsannahmen die beobachteten Phänomene zu erklären, und daſs die Erklärungen durch die neueren Annahmen naturgemäſser und einfacher werden. Es scheint mir aber keineswegs, daſs dies bei den Hypothesen des Hrn. Jamin der Fall ist. Die Theorie von Poisson und seinen Nachfolgern, welche eine Fernewirkung des Magnetismus statuirt, giebt vollkommene Rechenschaft von der Magnetisirung der Körper durch äuſsere Kräfte, soweit man annehmen kann, daſs die Momente der einzelnen Molecüle der wirkenden Kraft proportional sind. Sie ist, so weit es möglich war, durch die Messung der Momente verschieden gestalteter Ellipsoïde zur Genüge geprüft. (Galvanismus 2, Band II, § 348, 349, 350.)

Für die Abweichungen von der Theorie können wir vollkommen die Ursachen angeben, wenn wir annehmen, daſs die Momente der Molecüle in der Richtung der wirkenden Kraft sich mit Zunahme der letzteren einem Maximum nähern. Nach den mannigfachen Beziehungen zwischen dem mechanischen und magnetischen Verhalten der Körper haben wir allen Grund, diese Erscheinung auf die Drehung präformirter Molecularmagnete zurückzuführen, die dabei von den Molecularkräften in ihre unmagnetische Gleichgewichtslage zurückgelenkt werden, indeſs sowohl während, als auch nach der Wirkung der magnetisirenden Kraft allen Bedingungen unterliegen, die die elastische

Nachwirkung mit sich bringt. Ob die Molecularmagnete selbst ihre Eigenschaften permanenten Molecularströmen verdanken, ist für obige Theorie vorläufig gleichgültig, indefs nach allen Analogieen sehr möglich. Der Einwand des Hrn. Jamin (*Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 1241), dafs die Molecularströme eine elektromotorische Kraft voraussetzen, die sich in denselben vollkommen in Wärme umsetzte, dürfte nicht wohl haltbar seyn, wenn wir mit den Schwingungen der Körpermolecüle analoge elektrische Schwingungen annehmen, die in den Molecularströmen im Kreise herum ohne Widerstand verlaufen. Abgesehen hiervon wird durch die obigen Sätze, die wohl über das Bereich der Hypothese hinausgehen dürften, der permanente Magnetismus im Gegensatz zum temporären vollständig erklärt (vgl. Galv. 2, Bd. II, § 328). Es ist also nicht richtig, dafs erst durch die Hypothese des Hrn. Jamin (*Compt. rend. T. LXXVII, p.* 1394) der *„zu wenig bemerkte und absolut unverstandene“* Unterschied zwischen einer totalen Magnetisirung, welche nur durch den Strom erhalten wird, und einer ebenso grofsen permanenten Magnetisirung, die constant ist, erklärt wird. Ebenso ist die Definition des Wesens der Coercitivkraft völlig klar (Galv. 2, Bd. II, S. 70) und durchaus nicht, wie Hr. Jamin (*Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 19, 1874) sagt, vag und ohne irgend eine bestimmte experimentelle Unterlage.“ In verschiedenen Abhandlungen, sowie in meinem Werk über Galvanismus habe ich mich bemüht, ein möglichst klares Bild dieser Verhältnisse zu geben und sie so weit zu begründen, wie es ohne eine genauere Kenntnifs der mathematischen Gesetze der elastischen Nachwirkung möglich ist.

Ganz im Einklange mit dieser Theorie ist es, wenn man, wie zuerst Biot und dann genauer Lamont (Galv. 2, Bd. II, § 357 u. flgde.), zunächst unter Vernachlässigung der Wirkung der auf einem Magnet vertheilten freien Magnetismen auf einen Punkt im Innern, die Verbreitung der Momente von einem oder mehreren, den magnetisirenden Kräften unterworfenen Molecülen aus auf die benach-

barten verfolgt, und somit die Momente der einzelnen Molecüle der Körper, so wie ihrer ganzen Masse bestimmt, sey es, dafs die Molecüle hintereinander in einer Reihe angeordnet sind, oder mehrere Parallelreihen derselben nebeneinander liegen. Dadurch ergiebt sich die Vertheilung der Momente und auch der freien Magnetismen in Stäben, die an einer oder mehreren Stellen magnetisirenden Kräften ausgesetzt sind, ebenso in Magneten, die aus einzelnen Lamellen zusammengesetzt sind [1]).

Aus der Wechselwirkung der Molecularmagnete läfst sich ferner unmittelbar auch die Einwirkung eines weichen Eisenankers auf einen Magnet bestimmen. Je nach der Leichtigkeit der Drehung der Molecularmagnete wenden dieselben in beiden einander mehr oder weniger ihre ungleichnamigen Pole zu, und je nach der Härte und Länge des Magnets kann die Wirkung von Molecül zu Molecül mehr oder weniger merkbar bis zum anderen Pol fortschreiten.

1) Die von Hrn. Jamin (*Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 19, 1874) untersuchten Verhältnisse der Vertheilung des Magnetismus in einem dem einen Pol eines Elektromagnetes genäherten Eisenstabe sind im Allgemeinen schon von Poggendorff, van Rees u. A., specieller an einem langen Stabe von Weihrich (1865) beobachtet worden, welcher letztere zunächst für das Moment m in verschiedenen Abständen vom Nullpunkt die Formel $m = A \,.\, \mu^{-x}$ abgeleitet hat (Galv. 2, Bd. II § 411 u. folgende), woraus direct dieselbe Formel mit Abänderung der Constanten für den freien Magnetismus folgt, gerade wie sie Jamin gegeben hat. Ebenso hat schon lange vor Jamin (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 1673) Lamont (Galv. 2, Bd. II, § 358) im Jahre 1854 gezeigt, dafs in einem an einer oder mehreren Stellen magnetisirten Stabe die Magnetismen sich so anordnen, wie wenn die Vertheilung von jenen Stellen bis zu den Enden des Stabes fortschritte und sich dann wieder rückwärts durch den Stab fortsetzte. Er hat auch die entsprechende Rechnung für verschiedene Fälle durchgeführt, deren Princip sich auch die aus den Beobachtungen von Jamin abgeleiteten, „durch ihre Einfachheit sehr bemerkenswerthen" Gesetze (*Compt. rend. T. LXXVIII, p.* 95) über die Vertheilung des Magnetismus in Stäben, die an beiden Enden durch gleiche oder entgegengerichtete Ströme magnetisirt werden, ganz ohne Weiteres unterordnen lassen.

Durch die elastischen Verhältnisse bei der Drehung der Molecularmagnete wird endlich das Verhalten bei abwechselnden Magnetisirungen vollständig erklärt, wie ich am angeführten Orte ausführlich besprochen habe. Dafs endlich aus den vielfach vorgenommenen Bestimmungen der Vertheilung der magnetischen Momente auch die der freien Magnetismen sich unmittelbar berechnen läfst, ist bekannt; der Vorwurf also, den Hr. Jamin zunächst Culomb macht, dafs er nur die Momente bestimmt habe, weder für dessen, noch für spätere Forschungen vollkommen begründet. Ueberhaupt dürften wohl alle Resultate des Hrn. Jamin, von denen viele mit bekannten Thatsachen sehr nahe übereinstimmen, aus der oben erwähnten Theorie direct abgeleitet werden können.

Die Theorie des Hrn. Jamin läugnet zunächst die Wirkung der magnetisirenden Kräfte durch das Eisen hindurch. Es ist dies derselbe Einwand, der früher für die Fernwirkung der Elektricität aufgestellt wurde, indefs hier wie dort keinen genügenden Anhalt hat. Nur dadurch, dafs eine Magnetnadel in einer umgebenden Eisenhülle eine ihr entgegengesetzte Polarität hervorruft, compensirt letztere die Fernwirkung der Nadel; sonst sprechen alle Analogien mit der Fernwirkung der Gravitation, sowie auch die Uebereinstimmung der von Poisson abgeleiteten Rechnungsresultate mit der Erfahrung für die Unabhängigkeit der magnetischen Fernwirkung von zwischengestellten Eisenmassen. Die Abnahme der Magnetisirung mit der Tiefe ist also eine einfache Folge der gegenseitigen Wechselwirkung der durch die magnetisirende Kraft in gleicher Richtung magnetisirten Schichten aufeinander, die sich dadurch gegenseitig schwächen. Dieser schwächenden Wechselwirkung, welche bei Annäherung zweier Magnete mit ihren gleichnamigen Polen beobachtet werden kann und specieller von Hrn. Lamont betracht worden ist, ist von Hrn. Jamin nicht vollständig Rechnung getragen. Aus derselben leitet sich, wie wir unten ausführlicher besprechen wollen, das Verhalten der Lamellen eines Ma-

gnets nach ihrer Trennung gegen abwechselnd gerichtete Ströme direct ab.

Auch die Bildung von Ketten von magnetischen Molecülen erscheint nicht in dem Sinne gerechtfertigt, dafs sie nur an ihren Enden freie Pole besitzen sollen. Wenn ein Körper an verschiedenen Stellen seiner, mit der Richtung der magnetisirenden Kraft zusammenfallenden Längsrichtung verschiedene Querdimensionen besitzt, so ist gar nicht abzusehen, wefshalb nicht alle Molecüle von der magnetisirenden Kraft afficirt werden sollen, sondern eben nur an den Enden divergirende Ketten gebildet werden sollen, zwischen denen die überschüssigen Molecüle indifferent liegen. Ebenso ist es nicht deutlich, wie sich die Zahl dieser Ketten mit der Verkleinerung der Oberfläche vermindern soll, da doch die Ketten event. schon im Innern des Körpers enden könnten, und wie sie bei dem an den Enden erweiterten Körper nur von der Gröfse des mittleren Querschnitts abhängen soll. Besteht z. B. der Körper aus zwei einander tangirenden Kugeln, die durch eine, in der Richtung der Verbindungslinie ihrer Centra wirkende Kraft magnetisirt sind, so ist die Magnetisirung durchaus nicht auf eine Anzahl durch den Tangirungspunkt gehender Ketten beschränkt, sondern die Kugeln zeigen auch an den einander zugewendeten Seiten freien Magnetismus, der dem der einander abgewendeten Seiten entgegengesetzt ist. Wie es endlich möglich ist, aus Hrn. Jamin's Theorie den Magnetismus der Ellipsoïde der Erfahrung entsprechend zu berechnen, und wie daraus die Beziehungen zwischen dem mechanischen und magnetischen Verhalten der Körper abzuleiten sind, mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls bedürfte es des Nachweises, dafs die Theorie des Hrn. Jamin diesen Anforderungen genügt, ehe die ältere Annahme der drehbaren Molecularmagnete verlassen werden kann.

Freilich sagt Hr. Bouty in seiner fleifsigen Dissertation (*Thèses de docteur* No. 360. *Paris, Mallet-Bachelier*), ich

hätte bei der Durchführung dieser Theorie die Phänomene der Magnetisirung in ihrem Zusammenhang zwar erklärt, indefs doch nur durch eine Vergleichung mit denen der Elasticität. Ich glaube aber doch die Theorie nicht nur auf Analogien, die ich selbstverständlich (wie bei der Theorie des Lichtes die Erscheinungen der Akustik) mit herbeigezogen habe, sondern auf ganz bestimmten Thatsachen, nämlich auf der Wechselwirkung zwischen den mechanischen und magnetischen Kräften aufgebaut zu haben. Dafs man die magnetischen Molecularmagnete in ihren Drehungen unmittelbar verfolgen kann, ist ebenso wenig zu erwarten, wie dafs man die Bewegungen des Lichtäthers selbst erkennen kann, wohl aber können wir dieselben aus jenen Beziehungen folgern. Wenn nun Hr. Bouty meiner Theorie vorwirft, dafs sie zwar nicht absolut falsch, aber unvollkommen sey, da sich eine Anzahl Phänomene daraus nicht ableiten lasse, z. B. die Uebereinanderlagerung eines bestimmten temporären über einen permanenten Magnetismus und namentlich auch das Verhalten eines nur einer *einmaligen* temporären Magnetisirung ausgesetzten Bündels von Stahllamellen, so scheint sich diese Schwierigkeit doch sehr einfach zu lösen.

Wird ein System von Stahllamellen in einer Spirale einer auf alle gleich wirkenden magnetisirenden Kraft ausgesetzt, so würden sie alle durch diese Kraft die gleichen temporären Momente, z. B. $+a$ erhalten. Da indefs die Lamellen auf einander entmagnetisirend einwirken, so vermindert sich dieser temporäre Magnetismus, namentlich bei den mittleren, beiderseits von gleich magnetisirten Lamellen umgebenen, auf einen kleineren Werth, der z. B. für die mittleren Lamelle $+b$ sey. Wird die magnetisirende Kraft aufgehoben, so würden sich z. B. in der letzteren Lamelle die Molecularmagnete so weit zur unmagnetischen Gleichgewichtslage zurückdrehen, dafs sie für sich nur noch den permanenten Magnetismus $+c$ behielte. Da aber auch die anderen Lamellen einen eben solchen, nur gröfseren permanenten Magnetismus behalten, so werden

durch ihre entmagnetisirende Wirkung die Molecularmagnete über die dem permanenten Magnetismus $+c$ entsprechende Lage hinaus rückwärts gedreht, die Lamelle erhält unter Einflufs der entmagnetisirenden Kraft der äufseren Lamellen einen noch kleineren temporären Magnetismus d, der event. auch negativ seyn kann. Die Lamelle ist also factisch nacheinander *zweien* temporären Magnetisirungen ausgesetzt, einmal durch die äufsere Kraft, sodann durch die entmagnetisirende Wechselwirkung auf einander. Werden dann die Lamellen auseinander genommen, so hört die temporär magnetisirende Wechselwirkung auf, die Molecularmagnete der mittleren Lamelle sind nicht mehr in der dem temporären Magnetismus d entsprechenden Lage festgehalten, sondern springen durch die Molecularkräfte mehr oder weniger in die Lage zurück, die sie vorher hatten; d. h. die Lamelle nimmt einen Theil des durch die Wechselwirkung verlorenen Magnetismus wieder an; ihr permanentes Moment e ist nunmehr gröfser als d und kleiner als c. Aehnlich wie die mittlere, verhalten sich auch die übrigen Lamellen.

Ganz dieselben Phänomene zeigen sich, wenn man, wie bei den Versuchen des Hrn. Jamin, den Stahllamellen zuerst einzeln durch einen Strom J den temporären Magnetismus $+C$ ertheilt, der beim Oeffnen des Stromes den permanenten Magnetismus $+c$ hinterläfst, die Lamellen sodann zusammenlegt und wieder trennt. Haben sie bei der hierdurch erfolgenden theilweisen Entmagnetisirung, wie oben, das permanente Moment $e<c$ bewahrt, und läfst man den Strom $+J$ noch einmal auf sie wirken, so werden die Molecüle wieder ihren ersten Gleichgewichtslagen zugedreht, sie erreichen dieselben indefs nicht ganz vollständig; die temporäre Magnetisirung $+C_1$ ist etwas kleiner als $+C$. Ebenso bleibt nach dem Oeffnen des Stromes ein etwas kleiner permanenter Magnetismus $c_1<c$ zurück. Ein jetzt einwirkender Strom $-J$ kehrt die Lage der Molecularmagnete um, indefs in Folge der elastischen Nachwirkung, durch welche die mechanischen

Nulllagen der Molecüle nach der Seite der zuerst wirkenden Kraft verschoben sind, wiederum nicht vollständig, wie es in einem vollkommen elastischen, den abwechselnden Kräften $\pm J$ ausgesetzten Körper geschehen würde; die temporäre Magnetisirung $-C_{II}$ ist kleiner als $+C_I$ und hinterläfst eine permanente Magnetisirung $-c_{II} < c_I$.

Dasselbe Verhältnifs tritt, nur in einem schwächeren Grade, bei wiederholten Hin- und Hermagnetisirungen ein, ganz wie ich es schon früher ausgeführt habe, und wie es vollständig dem Verhalten eines nicht allzuharten Stabes entspricht, der durch abwechselnde Kräfte $\pm J$ hin- und hertordirt oder gebogen wird. (Vgl. Galv. 2, Bd. II, Seite 351, 357, 374.)

Auch einige neuere Versuche, bei denen ein harter Stahlstab von 238 Mm. Länge und 12 Mm. Dicke in einer Drahtspirale von 243 Mm. Länge, 28 Mm. innerem und 70 Mm. äufserem Durchmesser und von 335 Windungen von übersponnenem Kupferdraht abwechselnd der Einwirkung der magnetisirenden Ströme $\pm J$ ausgesetzt wurde, wobei er die temporären und permanenten Momente M und m erhielt, bestätigen dieses Verhalten. Die Beobachtungen wurden ganz in der früheren Weise ausgeführt. Die Stahlstäbe wurden unter sorgfältiger Vermeidung von Erschütterungen in die Spirale eingeschoben und aus derselben entfernt; ebenso wurde die sehr störende Einwirkung von Inductionsströmen möglichst beseitigt, indem die Stäbe jedesmal vor dem Oeffnen des Stromes aus der Spirale herausgezogen und nach dem Schliefsen desselben in dieselbe hineingeschoben wurden. Es waren dadurch wenigstens die Bedingungen der Magnetisirung möglichst gleichmäfsig hergestellt.

Stab No. I.

J	+ 86	— 86	+ 86	— 86	+ 86	— 86	+ 86	— 86	+ 86	— 86	+ 86	— 86
M	+ 360	— 351	+ 345	— 345	+ 340	— 342,5	+ 338	— 340,8	+ 337	— 340,2	+ 336	— 339,9
m	+ 108,5	— 92,3	+ 96	— 89,5	+ 93	— 88	+ 92,7	— 87,9	+ 91,3	— 87,8	+ 90,7	— 87,7

Stab No. II.

J	+ 86	— 86	+ 85,5	— 85,5	+ 85	— 85	+ 85	— 85
M	+ 364,9	— 358	+ 348,2	— 351	+ 344,2	— 348,5	+ 342,5	— 347
m	+ 114	— 99,2	+ 102,5	— 96,7	+ 99,4	— 95,3	+ 98,9	— 94,5

Stab No. III.

J	+ 141	— 83,8	+ 83	— 83	+ 83	— 83	+ 83	— 83	+ 83
M	—	— 214,1	+ 261,8	— 210,5	+ 255,4	— 210	+ 252,7	— 209	+ 250,1
m	+ 145	— 49,5	+ 98,5	— 48,7	+ 93	— 48,7	+ 90,7	— 48,4	+ 89,2.

Nach 10-maliger Hin- und Hermagnetisirung betrug:

J	M	m	J	M	m
— 82	— 210,6	— 49,7	+ 82	+ 246,7	+ 85,5.

Wurde der Stab darauf 8 Mal in negativer Richtung durch den Strom — 82 magnetisirt, aus der Spirale entfernt und wieder magnetisirt, so war

J	*M*	*m*	*J*	*M*	*m*
— 82	— 212	— 56,3	+ 82	+ 246,3	+ 84,7

und wurde er nunmehr 8 Mal nach der positiven Richtung durch den Strom + 82 in gleicher Weise magnetisirt, so ergab sich darauf

J	*M*	*m*	*J*	*M*	*m*
+ 82	+ 246,7	+ 91,5	— 82	— 245,7	— 51,7

Wurde ein vierter Stab erst 20 Mal abwechselnd auf die Temperaturen + 15° und 100° C. gebracht, um den vorübergehenden Einfluſs der Temperaturänderungen auf seine Molecularconstitution zu beseitigen, und sodann 14 Mal durch den Strom ± 84 hin- und hermagnetisirt, so ergab sich zuletzt

J	*M*	*m*	*J*	*M*	*m*
+ 84	+ 334,2	+ 95	— 84	— 339	— 92,8.

Wurde der Stab darauf 10 Mal auf 100° und 15° C. gebracht, so blieb ihm der permanente Magnetismus —49,5. Bei neuer Magnetisirung durch die Ströme ± 84 war zuletzt sein Magnetismus:

J	*M*	*m*	*J*	*M*	*m*
+ 84	+ 335	+ 25,5	— 84	— 338	— 92,3.

Aehnlich verhalten sich andere Stäbe.

Bei allen diesen Versuchen können wir uns vorstellen, daſs einmal durch die Magnetisirungen die Molecularmagnete nach der einen oder anderen Richtung gedreht werden, und daſs zweitens nach Aufhebung der magnetisirenden Kraft die Molecularmagnete einer durch die Molecularkräfte bedingten Nulllage zustreben, welche sie aber in Folge der elastischen Nachwirkung (der Reibung) nicht ganz erreichen, der sie sich aber mehr und mehr nähern, wenn die Magnete erschüttert oder wiederholten Temperaturwechseln ausgesetzt werden. Bei wiederholten Magneti-

sirungen nach derselben Richtung verschiebt sich diese Nulllage allmählig nach dieser Richtung und der Stab nimmt einen etwas stärkeren temporären, namentlich aber einen stärkeren permanenten Magnetismus an, der sich bei Wiederholung des Verfahrens einem Maximum nähert (vgl. auch die Versuche von Hermann und Scholz, Galv. 2, Bd. II, S. 324). Wird der Magnet in abwechselnden Richtungen magnetisirt, so verschiebt sich die Nulllage jedesmal in der Richtung der wirkenden magnetisirenden Kraft und zwar, da die Molecüle durch wiederholte Drehungen beweglicher werden, bei wiederholter Einwirkung der Kräfte mehr und mehr. Die entgegengesetzte magnetische Wirkung vermag dann die Molecüle nicht so weit nach der entgegengesetzten Seite zu drehen, wie vorher; sie behalten, indem sie einer Nulllage zustreben, die wiederum nicht so weit nach jener Seite abgelenkt ist, nach Aufhebung der magnetisirenden Kraft ein geringeres Moment, als vorher. Bei wiederholten entgegengesetzten Magnetisirungen werden die abwechselnden Verschiebungen der Nulllage nach der einen und anderen Seite und die nach beiden Seiten zu erzielenden Magnetismen mehr und mehr constant. Sind die abwechselnd gerichteten magnetisirenden Kräfte gleich, so ist daher die temporäre und die permanente Magnetisirung nach beiden Seiten nahezu die gleiche.

Hat ein Stab durch oftmalige Hin- und Hermagnetisirung seinen constanten Zustand erlangt, so verändert sich derselbe nach wiederholten Temperaturänderungen innerhalb gewisser Gränzen, wenn dadurch die Härte resp. der Magnetismus der einzelnen Molecüle, wie bei hohen Temperaturen, nicht verändert wird, bei neuer Magnetisirung nicht mehr; die Nulllage der Molecüle, wie sie durch die vorherigen Magnetisirungen bedingt ist, und der sich dieselben im permanent magetisirten Stabe bei wiederholten Temperaturwechseln zuneigen, bleibt ungeändert, und die abwechselnden Drehungen resp. Magne-

tisirungen bei abwechselnd gerichteten Kräften bleiben nach beiden Seiten die früheren.

Auch diese Resultate sind in Uebereinstimmung mit denen, welche man bei wiederholten Gestaltsveränderungen eines Körpers in einer bestimmten Richtung oder abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen erhält. Dies ergeben sowohl die älteren Versuche, als auch einige neuere Experimente über die Torsion von Drähten, welche den oben erwähnten Versuchen über die Magnetisirung von Stahlstäben ganz analog angestellt wurden.

Von einer Uebereinanderlagerung der temporären und permanenten Magnetismen kann bei allen diesen Erscheinungen ebenso wenig die Rede seyn, wie von einer Uebereinanderlagerung temporärer und permanenter Biegungen und Torsionen. Vielmehr begeben sich die Molecularmagnete oder Molecüle je nach der Einwirkung der äufseren magnetisirenden oder deformirenden und der inneren Molecularkräfte nach einander in verschiedene Gleichgewichtslagen, die den jeweiligen Magnetismus oder die jeweilige Torsion oder Biegung des den Kräften unterworfenen Körpers bestimmen.

Es scheint daher auch durchaus nicht nöthig, wenn auch Hr. Holz (diese Ann. Bd. CLI, S. 69) in einem unhomogenen magnetisirten Stahlstab beim Abätzen besonders stark permanent magnetische Kohleneisentheile gefunden hat, ohne Weiteres anzunehmen, dafs der temporäre Magnetismus in bestimmten, der permanente in anderen (harten) Molecülen getrennt seinen Sitz habe (vgl. Bouty l. c. S. 44). Der Magneteisenstein hat vollkommen gleichartige Molecüle; dennoch bleibt er nach einer temporären Magnetisirung stark permanent magnetisch, und man kann nicht annehmen, dafs in der Verbindung Eisenoxydoxydul, deren chemische Bestandtheile (Eisenoxyd und Eisenoxydul) für sich sehr schwach magnetisch sind, der eine etwa permanent, der andere temporär magnetisch werde. Ebenso nimmt reines, durch Wasserstoff aus Eisenoxyd reducirtes, also homogenes Eisen einen, wenn auch schwachen,

so doch deutlichen permanenten Magnetismus nach einer temporären Magnetisirung an (vgl. **Börnstein**, Berichte der Königl. Sächs. Gesellschaft d. Wissensch. 1874, 29. Juni). Die Phänomene der permanenten Magnetisirung leiten sich vollständig von der Wirkung der elastischen Nachwirkung nach Aufhebung der magnetisirenden Kraft ab. Dafs die speciellen Erklärungen der magnetischen Erscheinungen unter Zuhülfenahme dieser Wirkung nicht in allen Fällen ganz einfach sind, ist bei der Verwickeltheit derselben, namentlich bei abwechselnden Magnetisirungen und abwechselnd gerichteten Torsionen der Magnete u. s. f. sehr natürlich, sie beruhen aber alle auf einer äufserst einfachen mechanischen Grundlage, die ohne zwingende Gründe nicht durch neue allgemeine Annahmen complicirt werden sollte. — Ist der zu magnetisirende Körper nicht homogen, so ist selbstverständlich in diesem speciellen Falle die verschiedene Magnetisirbarkeit seiner Theilchen, also ihr eigenthümliches Moment und ihre Drehbarkeit in Betracht zu ziehen.

Die so eben erwähnten Einwände lassen sich auch gegen die magnetischen Theorien des Hrn. **Gaugain** erheben, der zuerst ein verschieden tiefes Eindringen der Magnetisirung, dann verschiedene Sorten mehr oder weniger coercitiver Molecularmagnete annimmt, von denen die coercitiveren (nach früheren Annahmen, *Compt. rend. T. LXXTII, p.* 798, tiefer liegenden) nach der Magnetisirung eines geschlossenen Hufeisenmagnets durch den starken Strom $+J$ bei der Wirkung eines schwächeren Gegenstromes $-i < J$ ihre Lage, also das remanente [1]) Mo-

1) Ich erlaube mir darauf aufmerksam zu machen, wie wünschenswerth es ist, die einmal angenommenen Bezeichnungen *temporäres* (während der Wirkung des Stromes), *remanentes* (nach dem Oeffnen desselben bei Auflegen des Ankers) und *permanentes* (nach dem Oeffnen des Stromes im geöffneten Magnet zurückbleibendes) Moment festzuhalten. Die Veränderung dieser Bezeichnungen, wenn man, wie es öfter geschieht, die Wörter remanent und permanent mit einander vertauscht, oder wenn **Jamin** den temporären Magnetismus „totalen",

ment y bewahren, während die weniger coercitiven sich umkehren und das Moment $-x$ annehmen. Der Magnet soll also ein der Differenz der coexistirenden Magnetismen gleiches remanentes Moment $m' = y - x$ erhalten, während dasselbe bei nachheriger Wirkung des Stromes $+i$ resp. $m' = y + x$ werden soll (*Comptes rendus T. LXXIX, p.* 1299). Die theoretischen Ideen führen Hrn. Gaugain ferner zu dem — wohl nicht gerade neuen — Schlufs, dafs in einem Magnetstab die Magnetismen jeder Schicht nicht nur durch ihre Coercitivkraft, sondern auch durch die Wirkung der benachbarten Schichten erhalten werden (l. c. S. 607)[1]).

Nach dem Obigen ist aber weder die Annahme verschieden stark magnetisirbarer Molecüle allgemein gerechtfertigt, noch ist die Drehung der Molecularmagnete bei abwechselnder Richtung der magnetisirenden Ströme von vorn-

die Differenz zwischen totalem und permanentem Magnetismus „temporären" Magnetismus nennt (*Compt. rend. T. LXXVII, p.* 1389, 1873), kann leicht Verwirrung verursachen.

1) Hr. Gaugain mifst die Momente der Magnete durch die Inductionsströme in einer umgebenden Spirale unter verschiedenen Bedingungen. Namentlich bestimmt er auch durch Messung des Inductionsstromes an den einzelnen Stellen des Magnetes die sogenannte „*Courbe de desaimantation*". Er hat dabei gefunden, dafs die Derivirte der durch dieselbe dargestellten Function (ihre Tangente) dem durch die Schwingungen einer Magnetnadel an den einzelnen Stellen beobachteten freien Magnetismus entspricht (*Compt. rend. T. LXXV, p.* 828 und an anderen Orten wiederholt). Dafs durch erstere, namentlich von van Rees im Jahre 1847 benutzte Methode das Moment an den einzelnen Stellen gemessen wird, ist bekannt (vgl. Galv. 2, Bd. II, § 285); letztere Beziehung, die auch van Rees hervorhebt (l. c. § 286), ist schon von Poisson im Jahre 1824 angegeben (l. c. § 340). Bei dieser Gelegenheit hat Hr. Gaugain (*Compt. rend. T. LXXX, p.* 297, 1875) „mit einiger Verwunderung constatirt", dafs die von einem Magnet in einem weiteren oder engeren Drahtringe inducirte elektromotorische Kraft vom Durchmesser des Ringes nahezu unabhängig ist. Bekanntlich ist dies eines der experimentellen Fundamentalgesetze der Magnetoinduction, welche im Jahre 1835 durch Lenz festgestellt worden (Galv. (2) Bd. II, § 706) und auch in dem allgemeinen Inductionsgesetz von F. E. Neumann (Galv. 2, Bd. II, § 752 und folgende) enthalten sind.

herein die gleiche im positiven und negativen Sinne, wenn auch bei geschlossenen Elektromagneten in Folge der Wechselwirkung der im geschlossenen Kreise aufeinander folgenden Molecularmagnete die hierbei auftretenden positiven und negativen Magnetisirungen von einander weniger verschieden sind, als in einem geraden, ungeschlossenen Stabe.

Wenn die bisher angeführten Phänomene aus der Theorie der drehbaren Molecularmagnete und der elastischen Nachwirkung unmittelbar abzuleiten sind, so gilt dasselbe von den Eigenthümlichkeiten der permanenten Magnetisirung der Stahlmagnete durch Streichen, wobei die Molecüle nach einander gerichtet werden, und die Hr. Gaugain mit vielem Fleifse studirt hat (*Compt. rend. T.* LXXX, *p.* 761, 1003). Ich habe für die einfachsten Erscheinungen dieser Art schon die Erklärung angedeutet (Galv. 2, Bd. II, § 334). Auch complicirtere Erscheinungen, wie sie Hr. Gaugain beobachtet hat, lassen sich ohne Schwierigkeit ableiten. Wird z. B. ein Hufeisenmagnet mit einem über beide Schenkel von Pol zu Pol gelegten Eisenanker armirt, so wirkt derselbe auf den Magnetismus verstärkend, indem seine temporär gleich gerichteten Molecularmagnete auf die Molecularmagnete des Magnets richtend zurückwirken. Wird der Anker gegen den Bug des Magnetes geführt, so folgen die Nordpole der Molecularmagnete des einen Schenkels dem darüber befindlichen Südpol des Ankers und umgekehrt, und kehren dabei mehr oder weniger ihre Lagen um; der Magnet wird schwächer. — Wird der Anker nahe dem Bug über die Schenkel gelegt, so bilden die dem Bug zu gelegenen Molecularmagnete des Magnets mit den durch sie gerichteten, leicht drehbaren Molecularmagneten des Ankers, denen sie sich zuneigen, mehr oder weniger einen geschlossenen Kreis; sie wirken weniger richtend auf die Molecularmagnete der freien Enden der Schenkel; der Magnetismus derselben nimmt ab; ebenso verändert sich die Vertheilung des Magnetismus in ihnen. Wird nun

der Anker den Polen zugeführt, so treten mehr und mehr Molecüle der Schenkel in den geschlossenen Kreis ein und werden dadurch, entsprechend einer Zunahme des Momentes der Schenkel, gerichtet.

Der Magnetismus des Magnets kann hierdurch bei dem Fortführen des Ankers bis zu den Polen zunehmen. Derselbe ist hierbei stabiler, als wenn der gleiche Magnetismus direct in einem neutralen Stahlhufeisen durch einen hinreichend starken Strom erzeugt wäre, da im ersten Fall schon die Erschütterungswirkung durch das Fortschieben des Ankers eingetreten ist, welche im zweiten event. noch den Magnetismus schwächen kann (vgl. Galv. 2, Bd. II, § 81, 472 u. folg., 539). Dafs bei diesem Verfahren der permanente Magnetismus sehr starker Magnete sich nicht vermehrt, sondern sich sogar vermindern kann (*Compt. rend. T.* LXXVIII, *p.* 1689), dürfte davon herrühren, dafs die beim Auflegen des Ankers in der Nähe des Bugs aus ihren stark magnetischen Lagen bedeutend zurückgegangenen Molecularmagnete der Schenkel beim Vorwärtsschieben durch den Magnetismus des Ankers nicht mehr die früheren, durch die erste, starke magnetisirende Kraft gebotenen Lagen annehmen können, und wohl auch in Folge der molecularen Erschütterungen bei der Hin- und Herdrehung ihre magnetische Einstellung nicht mehr so fest bewahren. Aehnlich lassen sich die Verhältnisse beim Streichen der Magnetschenkel mit kürzeren Spiralen mit und ohne Auflegen des Ankers ableiten (vergl. Gaugain, *Compt. rend. T.* LXXVIII, *p.* 1536)[1]).

---

1) Herr Gaugain (*Compt. rend. T. LXXX*, *p.* 297, 1875) hat unter ausdrücklicher Betonung des Unterschiedes zwischen seinen Experimenten und denen des Hrn. Dufour und den meinigen aus den Jahren 1856 und 1857 beobachtet, dafs die temporäre Magnetisirung eines vor einen Magnet gelegten Eisenstabes beim Erhitzen zunimmt und beim Erkalten nochmals ein wenig steigt. Ausführlicher habe ich indefs ganz denselben Einflufs der Temperaturänderungen auf den temporären Magnetismus auch schon im Jahre 1863 (Galv. 2, Bd. II, § 522) mitgetheilt, ebenso auf die Ursache auf-

Hr. Stoletow (Pogg. Ann. Bd. 144, S. 429; Galv. 2, Bd. II, S. 448) hat eine Reihe von Bestimmungen von magnetischen Momenten geschlossener Eisenringe durch Messung des Inductionsstromes in einer dieselben umgebenden Spirale beim Umkehren des magnetisirenden Stromes angestellt. Eine ähnliche Methode hat später Hr. Rowland benutzt (Galv. 2, Bd. II, Nachträge No. 95 und l. c.). Ich hatte in meinem Werk darauf aufmerksam gemacht, dafs die so gemessene Magnetisirungsfunction (k) im Allgemeinen grösser sey, als die bei der ersten Magnetisirung eines geschlossenen Kreises erhaltene Magnetisirungsfunction oder die Function k bei Magnetisirung eines offenen Systems. Wohl nur in Folge einer zu grofsen Kürze dieser Bemerkung hat Hr. Stoletow (Pogg. Ann. Bd. 151, S. 317) meinen Einwand nicht anerkannt. Obgleich Hr. Dr. Börnstein (Berichte der k. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1874, 29. Juni, S. 106) schon einige Worte darauf erwidert hat, erlaube ich mir doch, selbst noch einmal den betreffenden Punkt zu berühren.

Wird ein geschlossener, an allen Stellen gleichen magnetisirenden Kräften unterworfener Eisenring temporär magnetisirt, so richten sich die Molecularmagnete überall in gleicher Weise und nehmen zusammen ein viel gröfseres temporäres Gesammtmoment m_t an, als in einem nicht geschlossenen System ($m_{t,t}$), in dem die Momente von der Mitte gegen die Enden hin abfallen. Wird der magneti-

merksam gemacht, weshalb, wie Herr Gaugain bestätigt hat, bei der Magnetisirungsmethode von Robinson, Aimé und Hamann die bei hohen Temperaturen magnetisirten Magnete nach dem Erkalten mehr permanenten Magnetismus bewahren, als bei gewöhnlicher Temperatur magnetisirte Magnete. — Wenn Hr. Rowland (*Phil. Mag.* 4, *Vol. XLVIII*, *p.* 321, 1874) die Beobachtung gemacht hat, dafs im Nickel und Kobalt bei Temperaturerhöhungen der Widerstand gegen die Magnetisirung bei schwacher Magnetisirung abnimmt, bei starker Magnetisirung dagegen zunimmt, so stimmt dies ganz vollständig mit meinen früheren Ausführungen über die Wirkung der Temperaturänderungen auf den Magnetismus überein (Galv. 2, Bd. II, § 539).

sirende Strom geöffnet, so bleibt im ersten Fall, auch wenn der Eisenring sehr weich ist, ein beträchtliches remanentes Moment m_r, im zweiten ein sehr geringes permanentes Moment m_p zurück. Die beim Oeffnen erhaltenen Inductionsströme messen also in beiden Fällen die von ganz verschiedenen Bedingungen abhängigen Werthe $m_t - m_r$ und $m_{t_1} - m_p$. Werden aber die magnetisirenden Ströme umgekehrt, so nehmen, abgesehen von der Ungleichheit der Wirkung abwechselnd gerichteter Ströme, die Magnetstäbe annähernd die Momente $-m_t$ und $-m_{t_1}$ an, die Inductionsströme messen also die Werthe $2m_t$ und $2m_{t_1}$, welche wiederum von einander und von dem oben erwähnten Werthe $m_t - m_r$ verschieden sind.

Hr. Holz (Pogg. Ann. Bd. 154, S. 88) hat endlich beobachtet, dafs dichtere Magnetstäbe geringere permanente Magnetisirungen annehmen, als weniger dichte. Wenn er hiernach die Behauptung aufstellt, dafs die von mir beobachtete Verminderung des Magnetismus eines Eisenstabes bei der Torsion, die Vermehrung desselben bei der Detorsion nur von einer dabei erfolgenden Vermehrung resp. Verminderung der Dichtigkeit herrühre, so scheinen dabei die vielen übrigen Beziehungen zwischen Magnetismus und Torsion unberücksichtigt geblieben zu seyn, bei denen z. B. auch ein durch einen hindurchgeleiteten Strom transversal magnetisirter, also scheinbar unmagnetischer Stab oder ein theilweise entmagnetisirter Stab durch Tordiren von Neuem magnetisirt werden kann[1]).

Leipzig, 1. Juli 1875.

1) Herr Gore (*Proceed. Roy. Soc. Vol. XXII, p.* 57, 1874 Jan. 8) hat mit grofsem Fleifs das Verhalten von Eisendrähten untersucht, die der Einwirkung von herum- und hindurchgeleiteten Strömen ausgesetzt wurden, ohne meinen Versuch hierüber vom Jahre 1862 (Galv. 2, Bd. II, S. 565) zu kennen. Er hat indefs nachträglich die grofse Freundlichkeit gehabt, durch eine, seiner vollständigen Abhandlung (*Phil. Trans. Vol. CLXIV, pt. II, p.* 529) vorgedruckte Notiz die Priorität meiner Beobachtungen zu constatiren.

IV. *Ueber doppelbrechende Granaten; von Dr. Arthur Wichmann in Leipzig.*

Schon seit längerer Zeit ist die Thatsache bekannt, dafs eine Anzahl, dem regulären System zugehöriger Mineralien hinsichtlich ihrer optischen Eigenschaften Abweichungen wahrnehmen lassen. Als solche sind bis jetzt bekannt der Boracit, Analcim, Alaun, Diamant und Senarmontit. Das den anisotropen Körpern analoge Verhalten derselben im polarisirten Licht hat man auf verschiedene Ursachen zurückzuführen gesucht, wie beim Alaun und Diamant auf Spannungsverhältnisse, beim Senarmontit auf eingewachsene Lamellen einer fremden Substanz, beim Boracit auf Umwandlung, und beim Analcim auf Lamellarpolarisation[1]).

Im Jahre 1867 beobachtete nun Des Cloizeaux, dafs auch der Grofsular sich nicht isotrop verhält und macht darüber folgende Mittheilung[2]).

Granat grossulaire. Les cristaux verdâtres de Wilsui montrent dans la lumière polarisée parallèle, une marqueterie composée d'une multitude de pièces, colorées de teintes très-variées, mais arrivant toutes à l'extinction dans le même azimut. Dans la lumière convergente, certaines plages laissent voir une large bande noire qui peut devenir une courbe rappelant vaguement l'hyperbole de l'un des systèmes d'anneaux d'une substance biréfringente à deux axes."

Leider macht dieser treffliche Forscher nicht den geringsten Versuch zur Deutung dieses merkwürdigen Phä-

1) Rosenbusch, Physiographie S. 72, Strafsburg 1873.

2) *Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristeaux etc. Paris* 1867, *p.* 8.

nomens und desgleichen Rosenbusch[1]), der lediglich von dieser Notiz Mittheilung macht.

Merkwürdige optische Verhältnisse, die ich bei einigen der sogenannten derben Granaten vorfand, veranlaſsten mich in Bezug auf die angeführte Beobachtung von Des Cloizeaux, auch den Groſsular einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen. Zu diesem Behufe wurde von einem Krystall, Rhombendodekaëder, ein Dünnschliff angefertigt, der zunächst im Nörremberg'schen Polarisationsapparat betrachtet ward. Von allen den von Des Cloizeaux geschilderten Erscheinungen war aber durchaus Nichts zu bemerken, der Groſsular verhielt sich absolut isotrop. Sodann wurde der Dünnschliff unter dem Mikroskop einer Betrachtung unterzogen. Hierbei stellte sich heraus, daſs in der fast farblos erscheinenden Substanz mannigfache lebhaft polarisirende Körper sich vorfinden, deren mineralogische Natur jedoch nicht ohne Weiteres festzustellen ist. Die Granatsubstanz selbst verhielt sich bei gekreuzten Nicols in der Weise, daſs an der Stelle, wo ein schalenförmiger Aufbau sich zu erkennen gab, Polarisationsfarben hervortraten und zwar zeigten die Lamellen abwechselnd ein helleres oder dunkleres Graublau. Wo die Zonen fehlten, wurde die Substanz vollkommen dunkel. — Wenngleich diese Thatsachen mit den Beobachtungen von Des Cloizeaux auch nicht übereinstimmen, so soll die Richtigkeit der letzteren doch in keiner Weise angezweifelt werden, da es mir gelang, wirklich doppelbrechende und demnach lebhaft polarisirende Granaten nachzuweisen und werde ich weiter unten auf die Bemerkungen von Des Cloizeaux zurückkommen. Es sey mir noch an diesem Orte gestattet zu bemerken, daſs die bei einer gekreuzten Stellung des Nicols beim Groſsular auftretenden Polarisationsfarben wohl ohne Schwierigkeit auf Lamellarpolarisation zurückzuführen sind.

Mikroskopische Untersuchungen von Dünnschliffen des derben Granats (Allochroit) ergaben, daſs in Bezug auf

1) a. a. O. S. 164.

Structur und Ausbildung sich mannigfache Verschiedenheiten zeigten. Die Granatsubstanz ist in folgender Weise ausgebildet.

A) Die Substanz zerfällt nicht in einzelne Individuen.

B) Die Substanz zerfällt in einzelne Individuen.

α) Die Substanz ist in Gestalt unregelmäſsig begränzter Körner ausgebildet.

β) Die Substanz ist in Gestalt wohlbegränzter Krystalle ausgebildet.

Diese Eintheilung ergiebt sich aus der Untersuchung ohne Weiteres von selbst. Die unter *B* angeführten Ausbildungsweisen kommen häufig gemeinsam vor.

Die derben Granaten von Wierum bei Drammen in Norwegen, aus dem Pfitschthal in Tyrol, von Bayreuth usw., welche dem unbewaffneten Auge schon vollkommen „dicht“ erscheinen, zeigen mikroskopisch dasselbe Verhältniſs. Man gewahrt eine durchaus gleichmäſsige nicht individualisirte Substanz. Auch die graue und braune Färbung, welche ihnen eigen ist, erscheint nicht durch individualisirte interponirte Mineral-Elemente hervorgerufen, sondern dieselbe ist gleichmäſsig durch die ganze Masse vertheilt. In optischer Beziehung erweist sich die Granatsubstanz als vollkommen isotrop.

Eine eigenthümliche Ausnahme von den oben angeführten Vorkommnissen macht der sogenannte dichte Granat von Wurlitz bei Hof. Hier zerfällt die Substanz im polarisirten Licht in ein Aggregat unregelmäſsig begränzter Körner, die zum Theil verzwillingt zu seyn scheinen und eine mattblaugraue Färbung annehmen, während im zerstreuten Licht die Masse als nicht individualisirt erscheint, was bei den unter *Bα* angeführten derben Granaten niemals der Fall ist. Es wird in diesem Falle wohl zunächst die Vermuthung nahe gelegt, daſs man es hier mit einem „derben Vesuvian“ zu thun habe, und in der That führen

einige dieser Vorkommnisse in dem hiesigen Museum alte Etiquetten mit der Bezeichnung „derber Vesuvian“. Wer jedoch jemals den Vesuvian mit Inbegriff seiner Varietäten im Dünnschliff bei gekreuzten Nicols einer Betrachtung unterzogen hat, wird bemerkt haben, daſs der letztere bei gleicher Dicke der Schliffe ungleich stärker und lebhafter auf das polarisirte Licht reagirt. Aus diesem Grunde möchte es überhaupt zweifelhaft erscheinen, ob das Vorkommniſs von Wurlitz dem Granat resp. Vesuvian angehört, zumal eine chemische Analyse noch nicht ausgeführt zu seyn scheint.

So wenig Interesse die soeben besprochenen Granatvorkommnisse im groſsen Ganzen für sich in Anspruch nehmen, desto mehr Aufmerksamkeit verdienen die unter *B* angeführten.

Besonders sind Berggieſshübel und der Teufelstein bei Schwarzenberg Lokalitäten (beide in Sachsen gelegen), welche hauptsächlich Berücksichtigung verdienen. Dünnschliffe dieser Vorkommnisse weisen, unter dem Mikroskop betrachtet, mancherlei Verschiedenheiten auf. Das zu beobachtende Verhältniſs ist im Allgemeinen das, dass dort wo eine Zwischensubstanz (Kalkspath oder Quarz) vorhanden ist, der Granat sehr geneigt ist, in deutlichen Krystallen sich auszubilden (namentlich ist dies im Granat von Berggieſshübel der Fall), während wo diese fehlt sich unregelmäſsig begränzte Körner dicht an einander lagern. Es kommen jedoch auch Fälle vor, wo derartige Körner innerhalb des Quarzes oder Kalkspathes liegen.

Die Krystalle sind meist sehr regelmäſsig ausgebildet und zwar liefern ihre Durchschnitte in der Regel Sechsecke, doch kommen auch Quadrate vor. Hinsichtlich ihrer Structur zeigen sie stets einen deutlich schalenförmigen Aufbau, der oft in so schöner Weise auftritt, wie Fig. 9, Taf. V darstellt. Wie man auf den ersten Blick gewahrt, bestehen die Krystallschalen aus derselben Substanz wie der Kern selbst. Bei Anwendung des polarisirten Lichts ist eine prächtige Erscheinung ersichtlich.

Der innere Krystallkern wird nämlich vollkommen dunkel, während die angränzenden Lamellen die lebhaftesten Farben gewahren lassen. Die Erscheinung ist fast zu vergleichen mit der, welche die Plagioklase bei gekreuzten Nicols zu liefern im Stande sind. Als eine besondere Merkwürdigkeit dieses Phänomens ist noch die zu bezeichnen, dafs je zwei sich gegenüberliegende Lamellensysteme z. B. Fig. 9, Taf. V *a* und *a'* bei jeder Drehung des oberen Nicols gleiche Polarisationsfarben gewahren lassen.

Wie bereits erwähnt, ist der Eindruck stets der, dafs diese polarisirenden Krystallschalen ebenfalls aus Granatsubstanz bestehen und dafs dies wirklich der Fall ist, dafür liegen die ausgesprochensten Beweise vor. Es zeigen nämlich verschiedentlich auch die unregelmäfsig begränzten Körner einen Ansatz zu einer derartigen Structur, wie dies in Fig. 10, Taf. V ersichtlich ist. Bei gekreuzten Nicols wird das Granatkorn vollkommen dunkel, nur die auch schon im zerstreuten Licht hervortretenden Lamellen leuchten in abwechselnd blauen und gelben Farben hervor. Ferner ersieht man in Fig. 11, Taf. V, wie der Granat einen Versuch zum Auskrystallisiren gemacht hat, der Krystall hat sich aber nur rudimentär entwickelt. Wo der Kantenwinkel zum Vorschein kommt, ist auch die Schalenbildung vor sich gegangen. Bei gekreuzten Nicols treten auch hier Polarisationsfarben hervor. Aus diesen angeführten Thatsachen darf man wohl mit Recht schliefsen, dafs die Substanz der Krystallschalen mit derjenigen des Kernes identisch ist.

Eine genügende Erklärung für diese Erscheinung zu liefern war mir nicht möglich. Können wir auch das besprochene Phänomen beim Grofsular ohne Schwierigkeit durch die Lamellarpolarisation erklären, so mufs in diesem Falle doch gewifs noch ein Factor hinzutreten, schon allein um eine derartige Intensität der Erscheinung zu verursachen. Machte hier ferner lediglich die Lamellarpolarisation ihre Wirkung geltend, so müfste jede Krystallschale, die den innern Kern begränzt, *dieselbe* Polarisationsfarbe

zeigen, also z. B. die Lamellen 1, 2, 3, 4, 5 Fig. 9, Taf. V. Das ist also nicht der Fall. Eine solche Krystallschale zerfällt in eine Anzahl verschieden gefärbter Lamellen, von denen z. B. 1 und 4, 6 und 3, 2 und 5 gleiche Polarisationsfarben erkennen lassen.

Bei den bisher betrachteten „derben Granaten" hatte sich der Granatkern selbst stets als ein einfach brechender Körper erwiesen. Es treten jedoch auch Fälle ein, wo sich dieselben in optischer Beziehung als wirklich doppelbrechend zu erkennen geben. In einem Dünnschliff des „derben Granats" von Berggiefshübel wurden drei vollständig ausgebildete Krystalle gewahrt, während die übrige Masse aus unregelmäfsig begränzten Körnern sich darstellte. Die ersteren zeigten wiederum einen schalenförmigen Aufbau, aber nicht in so schöner Weise, wie die früher erwähnten, sondern nur wenige Krystallschalen waren zu bemerken. Desto stärker entwickelt war jedoch der Krystallkern. Bei der Betrachtung unter dem Mikroskop zwischen gekreuzten Nicols stellt sich nun die Erscheinung dar, dafs der Granatschnitt in 6 Felder, die durch verschiedene Polarisationsfarben begränzt sind, zerfällt. (Fig. 12, Taf. V.) Jedoch wiesen nicht alle Felder unter einander verschiedene Farben auf, sondern je zwei gegenüberliegende (*a* und *a'*, *b* und *b'* usw.) zeigten gleichmäfsige Färbung, die sich auch mit jeder Drehung eines Nicols gleichmäfsig veränderte. Dafs die Krystallschalen desgleichen auf das polarisirte Licht reagirten, bedarf wohl keiner besonderen Erwähnung.

Fragt man nun nach der Ursache dieses so auffälligen Phänomens, so wird man zur Erklärung derselben auf möglichst analoge Fälle zurückzugreifen suchen. Unter allen regulären Mineralien, die Doppelbrechungserscheinungen gewahren lassen, ist es nur der Boracit, der hier event. in Betracht gezogen werden könnte.

Volger[1]) beschreibt bei dem letztgenannten Mineral eine von den Rhombendodekaëderflächen ausgehende Um-

1) Pogg. Ann. Bd. 92, 1854, S. 77.

wandlung, die gleichmäfsig gegen das Innere fortschreitet. Hierbei wird der Boracit in ein Aggregat farbloser, bündelartig sich vereinigender Fasern (Parasit) verwandelt. Wäre dem so bei besagtem Granat, so würde eine einfache Erklärung für die Entstehung der im polarisirten Licht erscheinenden und durch verschiedene Farben begränzten Sextanten gefunden. Hier verhält sichdie Sache jedoch gerade umgekehrt. Allerdings sind die zur Untersuchung hier vorliegenden Granaten umgewandelt, aber gerade das Umwandlungsproduct ist es, welches die Erscheinung beeinträchtigt. Nicht allein dafs einzelne Partien trübe werden, sondern der Granat ist bereits in einem Falle so weit der Zersetzung anheimgefallen, dafs sich bei gekreuzten Nicols nur ein Bild darstellt, wie es Fig. 13, Taf. V wiedergiebt. So vermag ich denn mit Bestimmtheit zu constatiren, dafs die Umwandlung mit der beregten Erscheinung in keinem ursächlichen Zusammenhange steht. Eine genügende Erklärung über diese Doppelbrechungserscheinungen wird wohl schwer zu liefern seyn, doch will ich nicht unterlassen, noch auf einen Punkt aufmerksam zu machen. Man gewahrt zuweilen (jedoch nicht in den hier besprochenen Vorkommnissen), dafs Granaten Einschlüsse führen, die vom Centrum ausgehend, in die Ecken verlaufen und so einen Krystalldurchschnitt in 6 Felder theilen. Es weist dies entschieden auf einen concentrisch-radialen Aufbau der Krystalle hin. Sollten vielleicht bei einer derartigen Krystallbildung gewisse Spannungsverhältnisse obgewaltet haben, die jetzt jene Erscheinungen hervorzurufen im Stande gewesen sind?

Schalenförmig aufgebaute Granaten sind mikroskopisch bereits früher schon von Zirkel[1]) und Rosenbusch[2]) wahrgenommen worden. Die Angaben dieser beiden Forscher, dafs Granaten, die als Gemengtheil von Gesteinen auftreten, nie irgendwelche doppelbrechende Eigenschaften wahrnehmen lassen, ist lediglich zu bestätigen. — Vor

1) Z. d. d. g. G. 1868, S. 150.

2) Physiographie S. 164.

kurzer Zeit erhielt ich noch durch die Güte des Hrn. Professor Zirkel Kenntniſs von einem Granatvorkommniſs, das den schalenförmigen Aufbau in so schöner Weise zeigte, wie das in Fig. 9, Taf. V abgebildete von Berggieſshübel. Dieses Vorkommniſs stammt von Cottonwood Cañon im Wahsatsch-Gebirge, N. A., und machen hier die so beschaffenen Granaten einen Hauptgemengtheil des noch aus Quarz und Epidot bestehenden Gesteines aus. Aber auch hier bestätigt sich die vorhin citirte Beobachtung, daſs das polarisirte Licht keine Farbenerscheinungen hervorzurufen im Stande ist.

Am Schluſs dieser Beobachtungen gestatte ich mir noch einige Bemerkungen über den Kolophonit, denn gerade dieses Mineral gab den Anstoſs zu den vorhergegangenen Untersuchungen. Es war bereits Breithaupt[1]), der auf die zweifelhafte Granatnatur des Kolophonits hinwies und den gröſsten Theil des letztgenannten Minerals zu dem Vesuvian als Idocrasius retinophanus stellte und zugleich nachwies, daſs ein kleiner Theil des als Kolophonit bezeichneten Minerals Granat und Pyroxen sey. Ferner erklärt Rammelsberg[2]) daſs ein Theil der Kolophonite dem Vesuvian zuzuzählen sey. Trotz des Ausspruches zweier so trefflicher Forscher finden sich auf den heutigen Tag die Kolophonite in wohl allen Sammlungen dem Granat beigesellt; worüber übrigens s. Z. auch schon Breithaupt klagte.

Bekanntlich kommt der echte typische Kolophonit in körnigen Kalken bei Arendal in Norwegen vor und ist gerade nach seinen äuſseren Eigenschaften dieses Vorkommniſs so benannt worden. Im Dünnschliff zeigt sich der Kolophonit unter dem Mikroskop frei von Einschlüssen und ist gelblich grün, oft bräunlich gefärbt. Die zwischen den einzelnen Körnern befindliche Masse stellt sich als Kalkspath dar. Stimmt nun schon die Farbe des Kolophonits nicht mit der des Granats überein, so zeigt sich

1) Handbuch der Mineralogie 1847, Bd. III, S. 653.

2) Handbuch der Mineralchemie 2. Aufl. S. 694.

der erstere bei gekreuzten Nicols als ein entschieden doppelbrechender Körper, indem lebhafte Polarisationsfarben zu Tage treten. Die ganze Art und Weise dieser Erscheinung steht nicht in dem geringsten Zusammenhang mit der bei den derben Granaten und beim Grofsular beobachteten. Aus diesem Grunde wird man denn auch ohne Fehler den Kolophonit künftig dem Vesuvian unterordnen können.

Das Gesagte gilt jedoch nur für den echten typischen Kolophonit, dagegen konnten die Vorkommnisse von Escurial, Breitenbrunn i. S., u. s. w. und einige auch von Arendal ihre Granatnatur nicht verleugnen. Aber diese führen den Namen Kolophonit eigentlich mit Unrecht, denn sie besitzen nicht das eigenthümliche kolophoniumartige Aussehen und sind meist von entschieden rother Farbe. Es möchte deshalb wohl angemessener erscheinen, die letztgenannten Vorkommnisse, als „derben" resp. „körnigen Granate" und den Kolophonit ganz analog dem Egeran als Varietät des Vesuvians zu bezeichnen.

V. *Ueber eine aus 3240 Elementen bestehende Chlorsilberbatterie; von HH. Warren de la Rue und H. W. Müller.*

(*Compt. rend. T. LXXXI, p.* 686.)

Im Jahre 1868 hatten wir die Ehre, der Akademie eine constante Chlorsilber-Batterie vorzulegen, die in den *Compt. rend.* jenes Jahres (*T.* LXVII, *p.* 794) beschrieben[1]: Seit der Zeit hat diese Batterie, modificirt von uns und Hrn. Gaiffe eine ausgedehnte Anwendung in der The-

1) Siehe die kurze Notiz in dies. Ann. (1868) Bd. 135, S. 496, wo auch auf die von Dr. Pincus erfundene Chlorsilberbatterie hingewiesen ist.

rapie gefunden. Andere wichtige Bestimmungen haben uns mehre Jahre lang verhindert unsere Untersuchungen fortzusetzen; allein neuerlich haben wir sie mit einer beträchtlichen Zahl von Elementen wieder aufgenommen. Einige der von uns erlangten Resultate scheinen ein hinreichendes Interesse darzubieten, um die heutige Mittheilung zu rechtfertigen.

Die in dem *Comp. rend.* beschriebene Batterie mufste abgeändert werden, um aus mehren Gründen die Anwendung einer bedeutenden Anzahl von Elementen zu gestatten. Für eine mehre Monate lange Reihe von Versuchen wurde es nöthig, die Verdampfung des Wassers durch Verschlufs der Röhren zu verhindern; und überdiefs ist bei offenen Röhren die Isolation niemals genügend, besonders wenn man die Zahl der Elemente über einige Hunderte erhöht.

Die Batterie, die wir neuerdings anwandten, besteht einerseits aus 1080 Elementen, jedes gebildet von einer 15,23 Ctm. langen Glasröhre, und andererseits aus 2160 Elementen, gebildet von nur 12,75 Ctm. langen Glasröhren. Diese 3240 Röhren haben einen Durchmesser von 1,9 Ctm. und sind verschlossen durch einen Stöpsel von vulkanisirtem Kautschuk, der gegen den Rand hin durchbohrt ist, um einen 0,48 Ctm. dicken Stab von amalgamirtem Zink durchzulassen, der für die ersten 1080 Elemente 10,43 Ctm. und für die übrigen 2160 Elemente 7,93 Ctm. lang ist. Am Boden jeder Röhre befinden sich 14,59 Grm. gepulvertes Chlorsilber, welches man mittelst eines langhalsigen Silbertrichters einfüllt und mit einem Holzstab zusammenstampft, nachdem man zuvor einen abgeplatteten Silberdraht bis zum Boden hinabgeführt hat; dieser Draht ist 0,16 Ctm. dick und je nach den Röhren 20,32 Ctm. und 17,5 Ctm. lang. Oberhalb des Chlorsilbers, bis zu dem Punkt, wo sie aus dem Kautschukstöpsel hervortreten, sind diese Silberdrähte bekleidet mit mehreren Windungen eines dünnen Guttaperchablattes, um sie zu isoliren und vor der Wirkung des Schwefels im Kautschuk zu schützen.

Der Silberdraht einer jeden Röhre ist mit dem Zinkstab der benachbarten verbunden durch eins der folgenden Mittel, von denen das letztere den Vorzug verdient. Bei den ersten 1080 Elementen ist der Contact bewerkstelligt durch eine kurze Röhre von vulkanisirtem Kautschuk, welche auf dem Zinkstab sitzt und von dem Silberdraht durchsetzt wird; bei den letzten 2160 steckt der Silberdraht in einem Loch des Zinkstabes und wird darin durch einen konischen Pflock von Messing festgeklemmt.

Je 20 dieser Röhren stehen in einer Eprouvetten-Hürde mit vier kurzen Ebonitfüſsen, und so bilden die 1080 Elemente 6 Reihen in einem Kasten von 78,74 Ctm. Länge und eben der Breite und Höhe. Oben ist dieser Kasten mit Ebonit bedeckt,zur Erleichterung der Manipulationen mit dem Apparat, der somit wie auf einem Tische steht. Zur vollständigen Isolation ruhen die Füſse dieses Kastens auf 2 Ctm. dicken Ebonitplatten.

Wir haben gefunden, daſs die elektromotorische Kraft dieser Batterie sich zu der der Daniell'schen wie 1,03 zu 1 verhält. Der Widerstand der ersten Elemente ist beinahe um 50 auf 100 höher als der der 2160 letzteren. Der mittlere innere Widerstand der 3240 Elemente zu einer Reihe geordnet, ist, nach dem Verfahren von Mance bestimmt, 38,5 Ohms für jedes Element. Die ersten 1080 wurden geladen mit einer Lösung von 25 Grm. Kochsalz in einem Liter Wasser, die 2160 anderen mit einer von 23 Grm. Salmiak in einem Liter Wasser. Das letztere Salz bietet einen geringeren Widerstand dar, und ist auch deshalb vorzuziehen, weil es keinen Niederschlag von Zinksalz veranlaſst, was mit Kochsalz der Fall ist.

Die Batterie entwickelt 214 Cubikcentimeter Knallgas pro Minute, sobald der Strom eine Mischung von 1 Vol. Schwefelsäure und 8 Vol. Wasser in einem Voltameter mit einem Widerstand von 11 Ohms durchstreicht.

Die Schlagweite der Batterie zwischen kupfernen Elektroden, einer Spitze und einer ebenen Fläche, beträgt in Luft bei 1080 Elementen, geladen mit Kochsalz 0,096 bis

0,1 Millimeter, fügt man 1081 Elemente, geladen mit Salmiak hinzu, steigt sie auf 0,629 Millimeter und wenn man noch 1080 Elemente, geladen mit Salmiak, hinzusetzt, auf 1,468 bis 1,778 Millimeter. Diese Zahlen geben im Durchschnitt

I.	1080	Elemente	0,098 Mm.
II.	2160	„	0,629 „
III.	3240	„	1,623 „

Die Resultate II. und III. stehen fast im Verhältnifs 4:9 oder im directen quadratischen Verhältnifs der hintereinander gereihten Elemente. Da die Messungen etwas schwierig sind, wenn man die Schlagweite für blofs 1000 Elemente bestimmen will, so liefsen wir ein genaueres Instrument als das bis dahin angewandte verfertigen, um die Versuche zu wiederholen; indefs können die obigen Zahlen als sehr nahe richtig betrachtet werden. Um die Schlagweite zu bestimmen, stellt man die Elektroden in einen etwas gröfseren Abstand als der Strom durchspringen kann und nähert sie dann allmählig. Bei jeder Annäherung verbindet man die Kupferelektroden mit der Batterie durch einen Morse'schen Doppelschlüssel. Sowie der Funke übergesprungen ist, liest man den Index des Mikrometers ab; dann wird der Mefsapparat abgelöst und mit einer Batterie von blofs 10 Elementen verbunden, die ihrerseits mit einem Galvanometer verknüpft ist. Nun nähert man abermals die Elektroden bis die Bewegung der Nadel anzeigt, dafs Contact zwischen ihnen stattfindet, worauf man abermals das Mikrometer abliest. Der Unterschied der gefundenen Zahlen giebt die gesuchte Schlagweite.

In zwei Monaten werden wir eine neue Batterie von 2160 Elementen haben, mit Chlorsilber in Form von Stäben, die um Silberdrähte gegossen sind, wie bei unserer 1868 beschriebenen Batterie. Die Röhren, welche die Elemente enthalten, haben 2,54 Ctm. im Durchmesser und 14 Ctm. in der Länge. Sie sind durch Pfropfen von Paraffin verschlossen, welche die Silberdrähte nicht angreifen

und besser isoliren als die von vulkanisirtem Kautschuk. Da geblasene Röhren von ungleichem Durchmesser sind, so ist es gut die Pfropfen von vierlei Gröfsen zu haben, weil sie nicht elastisch sind, wie die von Kautschuk. Die Chlorsilberstäbe sind eingeschlossen in unten und oben offene Röhren von vegetabilischem Pergament, um den Contact derselben mit den Zinkstäben zu verhüten. Es ist nicht nöthig, die Silberdrähte mit Guttapercha zu bekleiden, weil die Pergamentröhren jeden Contact mit dem Zink verhindern. Der innere Widerstand der so construirten Batterie beträgt nur 2 bis 3 Ohms pro Element, je nach dem Abstand der Chlorsilberstäbe von den Zinkstäben. Sie entwickelt 3 bis 4,5 Cubikcentimeter Knallgas pro Minute in einem Voltameter, dessen Widerstand 11 Ohms beträgt. Die Wirkung beider Batterieformen ist merkwürdig constant; die erstere von 1080 functionirt seit November 1874 und giebt jetzt (October 1875) sehr nahe dieselbe Gasmenge in dem Voltameter. Die Menge des angewandten Chlorsilbers ist gleichwerthig 1600 Cubikctm. Knallgas. Die Batterie kann also lange Zeit zu Versuchen mit Geifsler'schen Röhren gebraucht werden.

VI. *Versuche mit der vorhin beschriebenen Chlorsilberbatterie an Geifsler'schen Röhren; von Hrn. W. de la Rue und H. W. Müller.*

(*Compt. rend. T. LXXXI, p.* 746.)

Der Strom der in unserer früheren Mittheilung beschriebenen Batterie von 3240 Elementen geht durch die meisten der zu Spectralanalysen dienenden Haarröhrchen und giebt dabei ein aufserordentlich glänzendes Licht, selbst in Röhren mit verschlossenen Kugelröhren von 6 Decimeter Länge; allein dies ist die Gränze der Kraft von 3240 Ele-

menten. In Röhren von 2,54 Ctm. Durchmesser durchläuft der Strom einen Abstand von 81 Ctm. zwischen den Polen mit Leichtigkeit. Die Batterie giebt eine viel gröfsere Elektricitätsmenge als es bedarf, wefshalb Vorsichtsmaafsregeln nöthig sind, das Schmelzen der Pole zu verhüten. Wenn wir die 2160 Stangen-Elemente vereinigt haben werden mit den 3240, die schon in Thätigkeit sind, wird wahrscheinlich die Schlagweite auf 4,5 bis 5,0 Mm. steigen; wir hoffen, dafs die Spannung dieser 5400 Elemente hinreichend seyn werde, alle Geifsler'schen Röhren zu durchdringen.

Für die Versuche mit den Geifsler'schen Röhren schalteten wir regulirbare Widerstände in den Strom ein, was für die uns beschäftigenden Studien nöthig ist. Die Apparate bestanden aus umgekehrten Heberröhren von 12,5 bis 2,5 Mm. Durchmesser, die entweder destillirtes Wasser oder ein Gemisch von Glycerin und destillirtem Wasser zu gleichem Volum enthielten. Ein Platindraht ging in jeden Fufs der Heberröhre und diese Drähte konnten einander genähert werden, um den verlangten Widerstand zu erreichen. Die Röhren sind aufserhalb graduirt, um die in den Strom eingeschalteten Widerstände schätzen zu können. Sie stiegen in einigen Fällen bis auf einige Millionen Ohms.

Zuweilen gebrauchten wir einen Widerstandsapparat, bestehend aus einer Stange Selens, die in einer Glasröhre enthalten war und von der ein Theil im Sinne der Länge fortgenommen werden konnte, um den Contact mit einem Leiter zu bewerkstelligen, den man bald vor, bald zurückschob, um von der Selenstange mehr oder weniger in den Strom zu bringen. Endlich hatten wir einen Apparat mit gezahntem Rade, durch welchen wir den Strom bis zu 1800 Mal in der Secunde unterbrechen konnten, was uns erlaubte, den continuirlichen Strom mit dem intermittirenden in derselben Röhre augenblicklich zu vergleichen.

Jede Röhre wurde einzeln untersucht und vorläufigen Versuchen unterworfen, die den Zweck hatten, die elek-

trische Entladung so zu reguliren, dafs man die verschiedenen beabsichtigten Erscheinungen nach Belieben hervorbringen konnte.

In mehreren, vielleicht in allen Fällen konnte man durch allmählige Einschaltung eines zweckmäfsigen Widerstandes die Schichtung so permanent machen, dafs sie sich photographiren liefs und somit ein dauerhaftes Bild von der Erscheinung gab (die Verfasser legten der Akademie vier solcher Photographien vor).

Beim Hindurchleiten des Stroms der Batterie durch Röhren geschieht es sehr oft, dafs die Entladung durch so rasche Pulsationen steigt, dafs man die Schichtungen nicht mehr wahrnehmen kann, obwohl sie in einem bewegten Spiegel durch Reflexion erkennbar sind. Aeufserst interessant ist es, den Einflufs der allmähligen Einschaltung eines Widerstandes zu beobachten. In einem gewissen Augenblick wird die Bewegung der Schichtungen regelmäfsiger, bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne, je nachdem man den Abstand zwischen den Polen des Widerstandsapparates vergröfsert oder verringert. Im Allgemeinen kann man durch einen hinreichenden Widerstand zu unbeweglichen Schichtungen gelangen; indefs werden sie durch Vermehrung des Widerstandes verworren und abermals in Bewegung gesetzt; fährt man aber mit der Vergröfserung des Widerstandes fort, so gelangt man dahin, sie wiederum unbeweglich zu machen.

Klar ist, dafs man, um sich Rechenschaft zu geben von den Ursachen der Bildung und Abänderung der Schichtungen, den inneren Widerstand der Röhren und der Batterie, so wie den eingeschalteten äufseren kennen mufs. Um diese Data zu erlangen, construirten wir einen speciellen Widerstandsapparat, dessen Windungen so gut isolirt waren, um bei den von uns angewandten Batterien von hoher Spannung Widerstände messen zu können. Dieser Apparat hat Widerstände, die von Million zu Million Ohms graduirt sind; mit demselben war es leicht, die Widerstände der Röhren und des flüssigen Wider-

standsapparates zu messen, und mehrere Millionen Ohms in den Strom einzuschalten.

Bei einer anderen Gelegenheit werden wir gewisse, sehr sonderbare und lehrreiche Inductionsresultate, die wir mit diesen Strömen von hoher Spannung erhielten, mittheilen. Wir begnügen uns zu sagen, daſs wir bei einem unserer Versuche, einen Inductionsstrom in einem secundären Draht erhalten haben, während in dem primären Draht der Strom anscheinend ohne Unterbrechung ging; primärer und secundärer Draht waren von Kupfer und hatten gleichen Durchmesser (1,6 Mm.) und Länge (*largeur*), sie waren mit Guttaperchaschichten von 0,8 Mm. Dicke bekleidet und neben einander auf zwei Spillen gewickelt, von denen jede zwei 320 Meter lange Drähte trug. Wir müssen indeſs hinzufügen, daſs, als wir am Abend der Abreise des einen von uns, diese Versuche wiederholten, wir nicht dasselbe Resultat erhielten, obwohl es nicht möglich war, uns über die Wirklichkeit der erhaltenen Resultate zu täuschen, da der secundäre Strom viel glänzendere Entladungen in den Geiſsler'schen Röhren hervorgebracht hatte als der primäre und eine doppelt so groſse Schlagweite als letzterer. Diese Versuche müssen demnach wiederholt und vervollständigt werden.

VII. *Ueber ein neues Polariskop; von Prof. W. G. Adams.*

(*Philos. Mag.* 1875, Juli S. 13. — Gelesen in der zu London neu gegründeten *Physical Society*.)

Beim Ersinnen dieses Instruments hatte man hauptsächlich im Auge:

1) Ein ausgedehntes Gesichtsfeld zu erhalten,

2) Die Ringe und die Winkel zwischen den optischen Axen zweiaxiger Krystalle zu messen.

3) Den Krystall in eine Flüssigkeit tauchen zu können, wenn die Axen zu weit auseinander weichen, um in Luft gesehen zu werden.

Diese Vortheile wurden erlangt durch Abänderung der Lagen und Brennweiten der gewöhnlich in den Polariskopen angewandten Linsen, so dafs die Ringe am besten gesehen werden, wenn ein Raum von 1,25 Zoll zwischen den beiden Linsen, einer auf jeder Seite des Krystalles, ist. In diesen Raum wird ein centrales Stück gebracht, bestehend aus einer runden Büchse mit tief plan-convexen Linsen, befestigt die eine am Boden und die andere an der Decke der Büchse, und zwar in solcher Lage, dafs ihre krummen Flächen ein gemeinschaftliches Krümmungscentrum haben, mit ihren flachen Flächen gegen einander gekehrt und den Krystall zwischen sich einschliefsend. Die Büchse ist drehbar um eine durch das gemeinschaftliche Krümmungscentrum gehende Axe.

Form und Lage des Spiegels und der Linsen des Polariskops.

A Fig. 12, Taf. II ist ein Hohlspiegel von etwa 1,5 Zoll im Durchmesser, wie er gewöhnlich zum Beleuchten bei Mikroskopen angewandt und gefafst wird. Eine biconcave Linse, einen Zoll im Durchmesser, ist so angebracht, dafs ihr Brennpunkt mit dem Hauptbrennpunkt des Spiegels zusammenfällt. Die von dem Spiegel herkommenden Strahlen werden also nach dem Durchgange durch die Linse parallel seyn. Um die Aberration soviel wie möglich zu vermindern, mufs der Krümmungsradius der Vorderseite der Linse etwa das Sechsfache des Radius der Hinterseite seyn. Die parallelen Strahlen fallen dann auf einen Turmalin oder anderen Polarisator *C*, dessen Durchmesser nahe dem der Linse gleich seyn mufs. Sie fallen dann auf eine biconvexe gekreuzte (*crossed*) Linse *D*, deren Vorderseite die gröfsere Krümmung besitzt, um die Aberration möglichst zu verringern. Diese Linse hat einen Zoll Durchmesser und 1,25 Brennweite.

In 0,25 Zoll Abstand von dieser Linse befindet sich

eine planconvexe Linse *E* von 0,8 Zoll Durchmesser und 1 Zoll Brennweite.

Die drei Linsen *B*, *D*, *E* können *eine* Fassung haben. Bei der obigen Anordnung werden Strahlen, die vor dem Einfall auf den Spiegel parallel sind, in einem Brennpunkt vereinigt, der anderthalb Zoll von der letzten Linse *E* entfernt ist. Die Strahlen fallen nun auf ein centrales Stück *MN*, bestehend aus zwei planconvexen Linsen, welche beinahe halbkugelig sind und den Krystall zwischen sich fassen; die erste dieser Linsen *M* ist 5 Mm. dick und der Radius ihrer Kugelfläche ist 6,4 Mm. oder 0,25 Zoll. Die andere Linse *N* ist 7 Mm. dick und der Radius ihrer Kugelfläche beträgt 9,6 Mm. oder 0,375 Zoll. Diese Linsen müssen so gestellt seyn, daſs die beiden Krümmungscentra genau in denselben Punkt *O* fallen. Der Abstand zwischen ihnen beträgt 4 Mm., welches nahezu die Dicke der meisten Krystallplatten ist. Wenn, statt *M* und *N*, Linsen von derselben Krümmung, aber der Dicke respective von 4,5 und 6,5 Mm. gebraucht werden, so werden sie eine Breite von 5 Mm. zwischen sich haben, falls sie in der besten Lage sind. Das centrale Stück muſs so gestellt werden, daſs *O*, das Krümmungscentrum der beiden krummen Flächen der Linsen, zusammenfällt mit dem Brennpunkt, gegen welchen die Strahlen convergiren, nachdem sie aus dem ersten Linsensystem herauskommen. Die Strahlen werden dann durch dieses centrale Stück ohne Aenderung ihrer Richtung hindurchgehen, da der Krystall das Licht fast in demselben Grade wie das Glas bricht, und das Licht wird hindurchgehen, wie wenn es durch den Mittelpunkt einer Glaskugel ginge.

Nach dem Durchgang durch dieses centrale Stück divergiren die Strahlen von dem gemeinschaftlichen Krümmungscentrum und fallen auf eine planconvexe Linse *F*, einen Zoll im Durchmesser und etwa $\frac{5}{8}$ Zoll vom gemeinschaftlichen Krümmungscentrum entfernt. Die Brennweite muſs 1,25 Zoll seyn. Einen halben Zoll von dieser Linse entfernt befindet sich eine andere *G*, von 1,5 Durchmesser und

1,75 Zoll Brennweite, um die Strahlen wiederum parallel zu machen. Dann ist in drei Zoll Abstand eine Linse *H* angebracht, deren Brennweite etwas geringer als 3 Zoll ist, und deren Durchmesser 1,5 Zoll beträgt. Oberhalb derselben befindet sich der Nicol *KL* mit irgend einem anderen Apparat, z. B. dem schönen des Hrn. Spottiswoode zum Nachweise der Wirkung des Quarzes und anderer Krystalle auf polarisirtes Licht. In dem Hauptbrennpunkt der letzten Linse *H* mufs ein Fadenkreuz ausgespannt, und zu einer genauen Messung über dem Nicol eine einfache Linse oder ein Augenglas angebracht seyn. Die punktirten Linien in der Figur bezeichnen den Weg der Strahlen in dem Instrument.

Der Zweck der Auffangung des vom Spiegel kommenden Lichts mit einer biconcaven Linse, ist: Die Aberration und den daraus entspringenden Verlust an Licht zu verhüten; allein dies bedingt den Gebrauch einer grofsen Turmalinplatte. In den bisherigen Polariskopen wird diese Schwierigkeit dadurch umgangen, dafs man zwei convexe Linsen anwendet, welche die Strahlen zwingen, die Axe sehr nahe beim polarisirenden Turmalin zu kreuzen, und sie dann mittelst einer zweiten convexen Linse parallel macht. Das centrale Stück kann jedem Polariskop hinzugefügt werden, vorausgesetzt dafs hinreichender Raum zwischen den beiden Linsensystemen da sey, um den Krystall und die beiden Linsen *MN* hinein zu lassen und eine Bewegung um die durch das gemeinschaftliche Krümmungscentrum der Flächen dieser beiden Linsen gehenden Axe zu gestatten. Die beiden Theile *BCDE* und *FGH* müssen so angeordnet seyn, dafs, wenn der Krystall allein an seinem Orte *O* ist, die Ringe am besten gesehen werden; dann mufs der Krystall in die Büchse, zwischen den beiden Linsen *M* und *N*, unten und oben, gebracht werden. Diese Büchse wird getragen von zwei Drähten *P* und *Q*, welche eine durch *O* gehende Axe bilden, und sie mufs grofs genug seyn, um den den Krystall fassenden Kork aufzunehmen. Die Axe sitzt in einer Messing-

röhre, welche *ein* Stück mit einer anderen Messingröhre bildet, welche auf dem Stück *BCDE* sitzt. Eine halbkreisförmige, graduirte Messingscheibe ist auf der grofsen Messingröhre befestigt, um die Axe *P* als Centrum, und auf dieser Axe befindet sich ein Zeiger zum Ablesen des Winkels, um welchen die Axe gedreht worden ist. Wenn man die Büchse um ihre Axe dreht, entsteht keine Veränderung in den Strahlen, welche durch das Centrum *O* der krummen Flächen der Linsen gehen; ist aber ein Krystall eingelegt, so können beim Drehen der Axe die durchgehenden Strahlen in jeder beliebigen Richtung fortgesandt werden, so dafs sich jede der optischen Axen eines zweiaxigen Krystalls in das Gesichtsfeld bringen läfst. Dadurch kann der Winkel zwischen den optischen Axen gemessen werden. Der centrale Theil *MN* hat die Gestalt einer Büchse, um eine Flüssigkeit einzufüllen und die Messungen in den Fällen ausführen zu können, in welchen die optischen Axen zu stark divergiren, um in Luft gesehen zu werden.

Die mit diesem centralen Theil zu erlangenden Vortheile sind:

1) Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes. In Luft ist der dem Gesichtsfeld entsprechende Winkel, ohne das centrale Stück, 74°, mit demselben etwa 128°; das centrale Stück giebt denselben Winkel in Glas, der ohne dasselbe in Luft gegeben wird. Das Gesichtsfeld vermag beide optischen Axen des brasilianischen Topases zu umfassen.

2) Wenn die die optischen Axen enthaltende Ebene rechtwinklig ist auf der Axe *PQ*, so kann jede der optischen Axen eines zweiaxigen Krystalls oder jeder Ring in das Centrum des Gesichtsfeldes, den Ort des Fadenkreuzes, gebracht, und der Winkel zwischen ihnen genau gemessen werden. Statt eine Linse für das Ocularstück anzuwenden, kann man das Centrum des Gesichtsfeldes dadurch fixiren, dafs man auf halbem Wege zwischen den Linsen *D* und *E* ein Fadenkreuz anbringt. Durch das System der Linsen *E*, *M*, *N*, *F* und *G* wird dieses Faden-

kreuz in einen Brennpunkt gebracht, der rechts von *G* etwa einen Zehntel Zoll entfernt ist, und in diesem Brennpunkt muſs ein anderes Fadenkreuz angebracht werden, so daſs die beiden Kreuze durch ihre Coincidenz das Centrum des Gesichtsfeldes bestimmen; das Fadenkreuz muſs sich im Brennpunkt der Linse *H* befinden, damit es durch den Nicol hin gesehen werden könne.

VIII. *Neue Methode zur schnellen Bestimmung des Brechungsindexes von Flüssigkeiten; von HH. Terquem und Trannin.*

(Mitgetheilt aus dem *Journ. de Physique théorique et oppliquée, T. IV* (1875.)

Wollaston hat eine auf die totale Reflexion gegründete Methode angegeben, um von Flüssigkeiten, die man nur in kleiner Menge besitzt, den Brechungsindex schnell zu bestimmen.

Wenn man eine Flüssigkeit mit einem Glasprisma in Berührung setzt, so erleiden bekanntlich die Lichtstrahlen, welche das Prisma durchdringen, an der Gränzfläche beider Mittel eine partielle Reflexion, die sich bei einem gewissen Winkel in eine totale verwandelt, sobald der Brechungsindex des Prisma gröſser ist, als der der Flüssigkeit, die man untersucht. Dieser Winkel, dessen Sinus gleich ist dem Verhältniſs der Indexe beider Substanzen, wird *Gränzwinkel* genannt. Wenn der Index des Prisma zuvor bestimmt worden ist, genügt es, den Winkel zu messen, bei welchem die totale Reflexion anfängt, um die zur Berechnung des Indexes nöthigen Elemente zu haben.

Der Apparat von Wollaston besteht wesentlich aus einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Flintglasprisma, welches mit einer Fläche des rechten Winkels auf einem horizontalen Lineale ruht; das eine Ende dieses Lineals

trägt eine lothrechte Säule, an welcher ein Fernrohr verschiebbar ist, welches sich an einem getheilten Kreis drehen läſst. An der horizontalen Seite des Prisma läſst man einen Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit haften und visirt dann mittelst des Fernrohrs durch das Prisma auf den daran hängenden Tropfen. Zufolge der Lage, welche das Fernrohr einnimmt, läſst der flüssige Tropfen einen Theil Lichtstrahlen hindurch, die von Gegenständen unter dem Prisma herkommen, oder, wenn die totale Reflexion schon stattfand, sendet er wie ein Spiegel die von Wolken herkommenden Strahlen zurück. Man notirt alsdann den Winkel, bei welchem das letztere Phänomen eintrat und mittelst einer Formel, in welche zugleich der Brechungsindex des Prismas und der Winkel des Fernrohrs gegen die Verticale eingehen, leitet man daraus den Brechungsindex der Substanz ab.

Wollaston modificirte später diese Vorrichtung, indem er das Fernrohr ersetzte durch ein Augenglas (*oeilleton*), welches von einem articulirten System getragen ward. Theilstriche auf einem der Stiele gaben dann ohne Rechnung den Werth des gesuchten Indexes. Diese Abänderung vereinfachte den Versuch, aber sie nahm den Resultaten die geringe Genauigkeit, welche die erste Vorrichtung gestattete.

Eine der Hauptschwierigkeiten, die man bei der Construction dieses Apparates zu überwinden hatte, bestand darin, dem Prisma genau einen Winkel von 90° zu geben. Malus wuſste sich dieser Bedingung zu entziehen, indem er eine Formel gab, welche die Anwendung eines Prismas von beliebigem Winkel gestattete.

Diese wenig genauen Methoden erfordern specielle Apparate, es gehen in die Berechnungen mehrere Constanten ein, wie z. B. der Winkel des Prismas und sein Brechungsindex, welcher nothwendig höher seyn muſs als der der Substanzen, die man studirt. Diese letzte Bedingung ist aber schwer zu erfüllen, vor Allem, wenn man mit stark brechenden Flüssigkeiten operirt. Da überdies das

Lichtbündel, welches vom Fernrohr oder vom Auge aufgefangen wird, nicht aus streng parallelen Strahlen besteht, so kann die totale Reflexion nicht in demselben Augenblick für die ganze betrachtete Fläche stattfinden und daraus entspringt eine gewisse Unsicherheit in der Bestimmung des Gränzwinkels.

Das Princip unserer neuen Methode beruht darauf, dafs wenn eine Luftlamelle tt' (Fig. 13, Taf. II), die zwischen zwei Glasplatten LL' und $L''L'''$ befindlich ist, in eine Flüssigkeit gebracht wird, die parallelen Lichtstrahlen CA, welche schief auf diese Lamelle fallen, total reflectirt werden bei dem Gränzwinkel der Flüssigkeit in Bezug auf Luft. Es genügt also diesen Winkel zu messen, um alle zur Berechnung des Indexes nöthigen Data zu haben.

Unser Apparat besteht aus Stücken, die in allen physikalischen Cabineten vorhanden sind: Einem Glaskasten mit parallelen Wänden und einem Babinet'schen Goniometer oder einem getheilten Kreis, wie man ihn zum Studium der Polarisation anwendet. Je nachdem man sich des Goniometers oder des getheilten Kreises bedient, gehen daraus zwei Einrichtungen hervor, die wir beschreiben wollen.

Bei der ersten Einrichtung besteht der Apparat wesentlich aus einem Glaskästchen $ABCD$ (Fig. 14, Taf. II) mit parallelen Wänden, welches die Flüssigkeit enthält. Dieses steht auf einem vollkommen festen Dreifufs T in geringer Höhe über der Platform, auf welche man beim gewöhnlichen Gebrauch des Goniometers das Prisma stellt und welches man bei diesem Versuch am besten fortnimmt. In die Flüssigkeit taucht vertical eine Platte PP', gebildet aus zwei rechtplanen Glaslamellen, die an den Rändern zusammengeklebt sind, mit Gummi, wenn man alkoholische Flüssigkeiten, Schwefelkohlenstoff, ätherische Oele usw. untersucht, mit Canadabalsam, wenn es sich um wässrige Lösungen handelt. Die dünne Luftschicht zwischen den beiden Glaslamellen bildet die reflectirende Fläche, an welcher bei dem Gränzwinkel die totale Re-

flexion der durch das Kästchen gehenden Strahlen stattfinden mufs.

Die Doppellamelle ist in der Mitte ihres oberen Randes befestigt an dem Ende *R* eines verticalen Kupferstabes, der am anderen Ende einen Knopf *M* trägt. Dieser Stab gleitet mit sanfter Reibung in einer Hülse *UU'*, getragen von einer kupfernen Kugel *S*, die sich zwischen den am Ende des horizontalen Stabes *H* befindlichen Backen *IE*, *I'E* nach allen Seiten drehen läfst.

Dieser ist verschiebbar in der Durchbohrung *O* einer verticalen Säule *NN'* und wird darin durch eine Schraube festgeklemmt. Diese Einrichtung erlaubt die Doppellamelle in dem Kästchen zu drehen, sey es durch Verschiebung des Stabes in der Hülse *UU'*, sey es mittelst der beweglichen Alhidade; bei diesen verschiedenen Bewegungen mufs die Senkrechtheit der Lamellen unverändert bleiben.

Um den Apparat zu reguliren, nimmt man zuvörderst den Kasten und die Doppellamelle fort, stellt darauf das bewegliche Fernrohr des Goniometers auf einen entfernten Gegenstand ein, und bringt es nun gegenüber dem Collimator, welchen man seinerseits so regulirt, dafs das Bild des Schlitzes genau in die Brennebene des ersten, auf Unendlich eingestellten Fernrohres falle. Auf diese Weise sind die Lichtbündel, welche auf den Kasten und die Doppellamelle fallen, streng parallel, sobald der Schlitz sehr schmal ist. Man stellt alsdann den Kasten zwischen die beiden Fernrohre, dergestalt dafs die Lichtstrahlen normal dnrch den Kasten gehen, und bringt nun die Doppellamelle in eine Ebene winkelrecht gegen den Limbus des Goniometers. Die bewegliche Alhidade wird befestigt durch die Druckschraube ihrer Bewegung, dicht am Fernrohr. Dann dreht man in seiner Hülse den Stab, welcher die Doppellamelle trägt, bis das Bild des Schlitzes, gesehen im Fernrohr, in Folge der totalen Reflexion an der Luftlamelle vollständig verschwindet. Nachdem man die Lage der Alhidade bestimmt hat, verschiebt man sie solcher-

gestalt, um die Doppellamelle in umgekehrtem Sinne gegen die einfallenden Strahlen zu neigen und abermals die totale Reflexion für eine zweite Lage der Lamelle zu erhalten. Die Hälfte des Winkels, um welchen man die Alhidade gedreht hat, giebt den Gränzwinkel der Flüssigkeit in Bezug auf Luft, sobald die Doppellamelle genau winkelrecht ist gegen den Limbus und durch zwei recht parallele Platten gebildet ist, sehr leicht zu verwirklichende Bedingungen.

Bei der zweiten Vorrichtung wird der Kasten auf ein unbewegliches Gestell gesetzt, zwischen zwei Fernröhren (*deux viseurs par exemple*). Das eine dieser Fernröhre trägt ein Diaphragma mit Schlitz an der Stelle des Oculars. Diese Fernröhre sind so geregelt, dafs die Lichtbündel, welche aus dem Collimator kommen, um darauf, nachdem sie durch den Kasten gegangen, in das andere Fernrohr einzutreten, parallel seyen. Man befestigt auf dem Kasten einen getheilten Kreis, durch dessen Hülse der senkrechte Stab der doppelten Platte mit dranger Reibung hindurchgeht. Die Alhidade dieses Kreises bewegt (*commande*) direct die Hülse und erlaubt dadurch die Doppelplatte um Winkel, gemessen an der Theilung des Kreises, zu drehen, Der Rest der Operation geschieht wie bei der ersten Vorrichtung.

Um genaue Messungen zu erhalten, sind gewisse Vorsichtsmaafsregeln nothwendig. Zunächst müssen die Lichtbündel, die von den verschiedenen Punkten des Schlitzes ausgehen, genau parallel seyn. Diese Bedingung ist unerläfslich, denn wenn sie nicht erfüllt wäre, würden die Resultate systematisch immer zu klein seyn. Denn fällt ein Bündel convergirender Strahlen *AEND* (Fig. 15, Taf. II) auf die Doppelplatte *LL*, die für die Parallelstrahlen *CM* unter dem Gränzwinkel *LOM* eingestellt ist, so ist leicht ersichtlich, dafs alle auf Seite *NC* der Linse liegende Strahlen einen den Gränzwinkel übertreffenden Winkel bilden und total reflectirt werden. Dagegen machen die Strahlen, welche von der Seite *AC* der Linse kommen,

mit der Lamelle einen Winkel, kleiner als der Gränzwinkel; sie durchdringen also die Luftlamelle mit einer gewissen Intensität, und um sie vollständig verschwindend zu machen, mufs man die Lamelle so weit drehen, dafs der am meisten geneigte Strahl auch mit derselben einen Winkel mache, der dem Gränzwinkel gleich ist.

Das Bild des Schlitzes verschwindet nicht mehr instantan, die Intensität des Bildes nimmt allmählig ab, und wenn vollständige Dunkelheit erreicht ist, wird der Winkel, den die Lamelle macht, gröfser seyn, als der Gränzwinkel. Nun aber ist der Refractionsindex dem umgekehrten Sinus des Gränzwinkels gleich; sein Werth wird also zu gering seyn, und ebenso verhielt es sich, wenn man den Fall von divergirenden Strahlen betrachtete.

Auch mufs man sich der Senkrechtheit der Doppellamelle versichern; dahin gelangt man leicht, wenn man so verfährt, wie gewöhnlich beim Einstellen eines Prismas am Goniometer für die Messung des Refractionsindexes. Es ist auch gut die Wände des Kastens senkrecht zu stellen und sich zu versichern, dafs sie gegen einander parallel seyen.

Wenn man den Schlitz mit monochromatischem Licht z. B. mit einer Natriumflamme, beleuchtet, so verschwindet das Bild fast instantan und die Ungewifsheit erreicht nicht 15 Secunden. Mit Tageslicht geht das Bild zunächst durch Gelb und Orange, erreicht endlich das Roth und verschwindet plötzlich, nachdem es sich mit reinem Roth, dem äufsersten Roth des Spectrums, bekleidet hat. Verschiedene sehr genaue Messungen haben uns die Annahme erlaubt, dafs das Verschwinden dieser letzteren Strahlen auf beinahe 15 Sacunden geschehen kann und dafs diese Strahlen fast genau mit dem Striche A zusammenfallen. Wasserstoffröhren, erleuchtet durch die Entladungen einer Holtz'schen Maschine, zeigen zwei recht markirte Farbenveränderungen, die herrühren von successiven, totalen Reflexionen der den Strichen H_γ und H_β entsprechenden Strahlen; das Verschwinden der Striche H_γ und H_β kann

auf nahe 80 Secunden bewerkstelligt werden; und das vom Strich H_α auf nahe 15 Secunden.

Hier einige Messungen, welche die Genauigkeit der Methode beurtheilen lassen; das dabei angewandte Goniometer war ein vortreffliches von Brunner, das 15 Secunden angab. Daneben gestellt sind die von Fraunhofer und von HH. Dale und Gladstone gefundenen Zahlen.

	Strich.	t	Winkel 2α.	Entsprechende Indices.	Indices nach Fraunhofer u. nach Dale und Gladstone.
Wasser	C	18°	97° 29′ 30″	1,3317	1,33171 F
Wasser	D	18	97 9 50	1,3336	1,33358 F
Benzin	A	19,5	84 41 20	1,4846	1,4860 D u. G
Glycerin	A	18	85 55 20	1,4672	1,4664 do.
Methylalkohol . .	A	18	91 10	1,4000	1,3990 do.
Schwefelkohlenstoff	$\varDelta$	20	76 55	1,6078	1,6076 do.

Die Unterschiede zwischen diesen Bestimmungen scheinen von der mehr oder weniger großen Reinheit der untersuchten Flüssigkeiten herzurühren.

Diese Methode fördert schneller als die mit einem flüssigen Prisma. Die Reinigung des Kästchens ist sehr leicht, man hat sich nicht um den Winkel des Prismas und die genaue Senkrechtheit seiner Kanten zu kümmern, kann auch leichter die Temperatur der Flüssigkeit bestimmen.

Für eine rasche Messung des Brechungsindexes einer Flüssigkeit, wenn man nicht mit dem Prisma ein sehr genaues Instrument anwendet, scheint unsere Methode genauere und raschere Resultate zu geben. Dagegen giebt die Prismenmethode eine größere Genauigkeit, wenn man große Kreise, die 15 Secunden angeben, gebraucht. Dies rührt davon her, daſs die Unsicherheit geringer ist, wenn es sich um die Bestimmung der Coïncidenz eines Strichs

mit einem Fadenkreuz handelt, als um dasselbe rasche Verschwinden einer Lichtlinie.

Hat man eine grofse Anzahl von Flüssigkeiten zu untersuchen und begnügt man sich mit einer Annäherung bis zur vierten Decimale, so glauben wir, dafs unsere Methode wegen ihrer Schnelligkeit und Bequemlichkeit den Vorzug verdient.

IX. *Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in suspendirten Drähten; von W. Siemens.*

(Aus den Monatsberichten der Akademie, December 1875.)

Das andauernde Frostwetter des letzten Winters und das freundliche Entgegenkommen der Verwaltung der Niederschlesisch-Märkischen Eisenbahn und namentlich ihres Telegraphen-Inspectors Hrn. Wehrhahn, machten es mir möglich, einen schon im Jahre 1845 von mir gemachten Vorschlag zur directen Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität [1]) in Ausführung zu bringen. Leider verhinderte das während der Versuche eintretende Thauwetter die vollständige Durchführung derselben, doch erscheinen die erhaltenen Resultate schon wichtig genug, um ihre Mittheilung vor völligem Abschlusse dieser Arbeit zu rechtfertigen.

Die von mir hierbei zur Anwendung gebrachte Methode weicht in einigen wesentlichen Punkten von meinem früheren Vorschlage ab. Nach diesem bedurfte es zur Ausführung der Messung zweier von einander und vom Erdboden isolirter, gleichmäfsig rotirender Stahlcylinder und zweier Doppelleitungen, von denen die eine die bei-

1) Diese Annalen Band 66, Seite 435.

den Cylinder, die andere zwei isolirte Spitzen leitend verband, welche den Peripherien der Cylinder nahe gegenüber standen. Entlud man eine Leydener Flasche zwischen einer Spitze und dem ihr zugehörigen Drahtende, so mufste der Entladungsstrom den ganzen Leitungskreis durchlaufen und auf dem Mantel jedes der beiden Stahlcylinder eine Funkenmarke zurücklassen. Die Differenz der Abstände dieser während der Rotation der Cylinder erzeugten Marken von denen in gleicher Weise bei ruhenden Cylindern hervorgebrachten, war dann das Maafs der Zeit, welche die Elektricität zum Durchlaufen des halben Kreislaufes gebrauchte.

Der Ausführung dieses Planes standen erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Diese bestanden einmal in der Schwierigkeit, vier gleich lange, von demselben Orte ausgehende, hinlänglich gut isolirte Leitungen zu beschaffen, hauptsächlich aber in der mechanischen Aufgabe, zwei von einander und vom Erdboden völlig isolirte Stahlcylinder so leicht herzustellen und so vollkommen zu centriren, dafs ihnen die nöthige Umdrehungsgeschwindigkeit von 100 bis 150 Umdrehungen in der Secunde gegeben werden konnte. Ich wandte daher eine veränderte Methode an, bei welcher nur *ein*, nicht isolirter, Stahlcylinder und nur *eine* Doppelleitung erforderlich war.

Sie beruht auf der Anwendung zweier Leydener Flaschen oder Ladungstafeln, von denen die innere Belegung der einen direct durch einen kurzen Draht, die der anderen durch die lange Kreisleitung mit der dem rotirenden, zur Erde abgeleiteten, Cylinder nahe gegenüberstehenden Spitze verbunden ist. Die äufseren, isolirten Belegungen der Flaschen sind metallisch verbunden. Werden sie zur Erde abgeleitet, so wird in demselben Momente die Elektricität der inneren Belegung beider Flaschen frei und entladet sich durch die Spitze und den rotirenden Cylinder zur Erde. Ist die Rotation hinlänglich geschwind und die Leitung lang genug, so entstehen auf dem Cylinder zwei räumlich getrennte Marken, deren Abstand das

Maafs der Zeit ist, welche die Elektricität zum Durchlaufen der Drahtleitung von der Flasche zur Spitze gebrauchte.

Ich modificirte diese Anordnung auch in der Weise, dafs ich anstatt einer Spitze deren zwei dem Cylindermantel gegenüberstellte und die eine Spitze direct mit der einen, die andere durch die Leitung mit der anderen Flasche verband. Die Spitzen wurden möglichst nahe nebeneinander gestellt, so dafs die gleichzeitig von beiden bei ruhendem Cylinder hervorgebrachten Marken dicht beisammen und möglichst in einer mit der Axe parallelen Ebene lagen. Es wurde dann zuerst eine Entladung der Flaschen bei ruhendem Cylinder und darauf erst die zur Messung dienende Entladung bei rotirendem Cylinder gemacht. Der Apparat selbst war derselbe, den ich zur Messung der Geschwindigkeit der Geschosse im Geschütz- oder Gewehrlaufe benutzte nnd an anderen Orten beschrieben habe. Der Stahlcylinder ist möglichst leicht aus einem massiven Stahlcylinder ausgedreht. Er hat einen Durchmesser von 40 Mm. und eine Seitenhöhe von 10 Mm. Seine Stahlaxe ist mit einem Gewinde versehen, in welches die Zähne eines Steigrades eingreifen. Dies wird durch ein kräftiges Laufwerk mit Gewichtsbetrieb gleichmäfsig gedreht. Die Geschwindigkeit der Drehung des Cylinders läfst sich durch einen ebenfalls anderweitig beschriebenen Regulator während der Rotation beliebig innerhalb weiter Gränzen abändern. Das mit 100 Zähnen versehene Steigrad trägt eine kleine Nase, durch welche nach jeder Umdrehung ein leichter Hammer gehoben wird, der an eine kleine Glocke schlägt. Wenn der Regulator so eingestellt ist, dafs die Glockenschläge mit den Pendelschlägen eines Secundenpendels genau zusammen fallen, so rotirt der Cylinder genau 100 Mal in der Secunde. Der Cylinderwand gegenüber ist eine kleine Lupe mit Fadenkreuz befestigt, welche zur Ablesung des Winkelabstandes der Funkenmarken dient.

Im Zustande der Ruhe kann durch Bewegung eines Hebels eine Schraube ohne Ende mit geschnittenem Kopfe

mit dem Cylinder in Eingriff gebracht werden, durch welche dieser so lange langsam gedreht werden kann, bis der Faden der Lupe durch die Mitte der Funkenmarke geht. Es können auf diese Weise Milliontel Secunden noch genau abgelesen und 10 Millionstel geschätzt werden.

Die dem Cylindermantel gegenüberstehende leitende Spitze besteht aus einem dünnen Glasrohre, in welches ein möglichst feiner Platindraht eingeschmolzen ist. Nachdem dies Glasrohr in ein Metallrohr mit Schraubengewinde eingefuttert und das dem Cylindermantel gegenüberstehende Ende desselben sorgfältig halbkugelförmig abgeschliffen ist, wird es so nahe wie möglich an den rotirenden Cylinder herangeschraubt.

Durch die Glashülle, welche den Platindraht bis zu seinem äufsersten Ende umgiebt, soll verhindert werden, dafs Funken eine seitliche Richtung einschlagen. Sehr schwache Funken hinterlassen auf einer polirten Stahlfläche einen einzelnen hellglänzenden Punkt, stärkere ein Bündel von Funken, auf dessen Mitte das Fadenkreuz eingestellt werden mufs. Um das Auffinden der Funkenmarken zu erleichtern, wird der Cylinder vor dem Gebrauche in bekannter Weise berufst. Es ist dann jede, auch die schwächste und mit blofsem Auge kaum sichtbare Funkenmarke mit einem deutlichen ringförmigen Hofe umgeben, der es ermöglicht sie leicht in das Gesichtsfeld des Mikroskopes zu bringen. Anstatt der Leydener Flaschen benutzte ich in der Regel Ladungstafeln aus mit Staniol belegten Glimmerblättern. Dieselben wurden sorgfältig in eine Harzmasse eingeschmolzen, so dafs sie im Stande waren, die angenommene Ladung längere Zeit ohne merkliche Schwächung festzuhalten. Sie waren mit einem Umschalter versehen, welcher gestattete, sie getrennt von der Spitze (oder den beiden Spitzen, wenn deren zwei benutzt wurden) gleichzeitig durch eine Holtz'sche Maschine zu laden und dann im letzten Momente vor dem Versuche die bis dahin mit der Erde verbundenen Belegungen mit der oder den respectiven Spitzen zu verbinden, während

die leitend verbundenen anderen Belegungen in einem mit Guttapercha isolirten Drahte endeten. Die Entladung wurde dann dadurch bewirkt, daſs ein mit der Erde leitend verbundenes Messer mittelst eines kräftigen Hammerschlages durch den isolirten Draht getrieben und dadurch eine kurze aber möglichst widerstandslose Ableitung der verbundenen Belegungen zur Erde herbeigeführt wurde. Auf diese Weise gelang es, die anfänglich sehr störenden, durch langsame Entladung der Ladungstafeln hervorgerufenen, falschen Entladungsmarken auf dem Cylinder völlig zu beseitigen.

Mit dem so verbreiteten Apparate wurden nun fürs Erste im Zimmer eine Reihe von Versuchen angestellt. Es wurde constatirt, daſs die Entladung einer Flasche in einem Entladungskreise von geringem Widerstand so schnell verläuft, daſs das Markenbündel auf dem rotirenden Cylinder nicht wesentlich verschieden von dem auf ruhendem Cylinder erzeugten ist. Vereinzelte Funkenmarken, die sich fast immer ohne Regelmäſsigkeit auf der Cylinderfläche finden, sind offenbar dem sogenannten *residuum* der Ladungstafeln zuzuschreiben. Die Erscheinung ändert sich, wenn die Entladung durch sehr groſse Widerstände stattfindet. In diesem Falle bildet sich auf dem Cylinder eine continuirliche Reihe von Funkenmarken, niemals aber ein homogener Strich, welcher einem eine meſsbare Zeit andauernden elektrischen Strome entsprechen würde. Es ist aber hieraus nicht zu schlieſsen, daſs die Gesammt-Entladung auch in diesem Falle aus einer Reihe von Partialentladungen von unmeſsbar kurzer Dauer bestehe. Denkt man sich im Gegentheil, die Entladung bestände aus einem continuirlichen Strome von abnehmender Stärke, der Funken wäre mithin als andauernder Davy'scher Lichtbogen aufzufassen, so läſst sich dennoch dies Auftreten einer Reihe von räumlich getrennten Funkenmarken erklären.

Durch den rotirenden Cylindermantel werden nämlich die nächsten Luftschichten mit fortgerissen und zwar um

so vollständiger, je näher die Luftschicht der rotirenden Cylinderfläche ist. Nimmt man nun an, der Beginn der Entladung hätte die mit dem Cylinder rotirende Luftschicht zwischen der Spitze und dem Cylinder durchbrochen, also einen glühenden, gut leitenden Canal zwischen Spitze und Cyliinder hergestellt, so wird dieser Canal durch die Rotation mit fortgeführt. Findet nun ein continuirlicher Nachschub von Elektricität von der Spitze aus statt, so wird der Canal von dieser aus continuirlich verlängert, da er trotz gröfserer Länge der Elektricität geringeren Widerstand darbietet, wie die undurchbrochene kalte Luft, die sish zwischen Spitze und Cylinderwand eingeschoben hat. Hat diese Entladungsstrafse jedoch eine gewisse Länge erreicht, so wird ihr Widerstand gröfser wie der der kalten Luft zwischen Spitze nnd Cylinder, es findet ein neuer Durchbruch und damit die Bildung einer neuen Funkenmarke und Entladungsstrafse statt.

Die Entladung einer Flasche durch ein mit Wasser gefülltes Kautschukrohr oder durch eine nasse Schnur gab eine, wie es schien, vielfach um den ganzen Cylinder herumgehende Serie von feinen Funkenmarken, es war aber kein Zeitverlust für den Beginn der Entladungen zu constatiren. Da es mir aus manchen Gründen, namentlich auch in Folge der von Fizeau und Gounelle erhaltenen Resultate, als wahrscheinlich erschien, dafs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität der specifischen Leitungsfähigkeit der Materie proportional seyn müsse, so wiederholte ich diesen Versuch mit einem 100 Fufs langen, 20 Mm. im Lichten starken Kautschukrohre, welches mit Zinkvitriollösung gefüllt war. Zu meiner grofsen Ueberraschung war aber auch hier keine Zeitdifferenz zwischen der directen Entladungsmarke und der Marke der ersten Partialentladung durch das 100 Fufs lange Flüssigkeitsrohr aufzufinden. Da eine Differenz von 5 Millionentheil Secunde noch sicher zu erkenneu gewesen wäre, so ist hierdureh constatirt, dafs die Fortpflanzungsgeschwindig-

keit der Elektricität in Flüssigkeiten *über* 800 geogr. Meilen per Secunde betragen mufs.

Da nun die Leitungsfähigkeit des Kupfers mindestens 200 Millionenmal gröfser ist wie die der Zinkvitriollösung, so müfste die Geschwindigkeit der Elektricität im Kupfer mindestens 160000 Millionen Meilen betragen, wenn die specifische Leitungsfähigkeit mit Geschwindigkeit der Elektricität gleichbedeutend wäre.

Dafs elektrolytische Leiter die Elektricität schneller wie Metalle von gleicher Leitungsfähigkeit leiten sollten, wird kaum angenommen werden können; es war das Gegentheil wahrscheinlicher, da angenommen werden mufs, dafs bei der elektrolytischen Leitung Molecularbewegungen stattfinden.

Bei den mit längeren Telegraphenleitungen auszuführenden Versuchen sollte nun die Frage entschieden werden, ob der Elektricität wie dem Lichte ein bestimmte mefsbare Fortpflanzungsgeschwindigkeit zuzuschreiben sey, oder ob die von verschiedenen Beobachtern gemessenen Verzögerungswerthe ganz oder doch zum grofsen Theile der Verzögerung der Stromerscheinung am entfernten Leitungsende durch Flaschenladung des Drahtes zuzuschreiben seyen. Zu dem Ende sollten die Versuche kurz nach einander mit möglichst verschiedenen Drahtlängen angestellt und jedesmal die Flaschencapacität dieser Drahtlängen gemessen werden.

Die ersten Versuche fanden am 23. Februar dieses Jahres in Köpnik statt, wohin Hr. Dr. Frölich, der die nachfolgenden Messungen sowohl hier wie später in Sagan mit gewohnter Geschicklichkeit und Sorgfalt ausgeführt hat, schon vorher mit den Apparaten gegangen war.

Zunächst wurde durch eine Reihe von Versuchen constatirt, dafs die Isolation der Leitung bei dem obwaltenden milden Frostwetter ausreichte, um den Entladungsfunken durch die ganze nach dem 12,68 Kilom. entfernten Erkner und zurück führende Telegraphenleitung (aus 5 Mm.

dickem Eisendrahte) hindurch zum rotirenden Cylinder zu leiten.

Die Versuche wurden mit zwei Spitzen gemacht, d. h. also, es wurde die eine (kleinere) Flasche direct durch die eine Spitze, die zweite beträchtlich gröfsere Flasche durch die Leitung und die andere Spitze entladen. Es wurden sieben Entladungen gemacht. Die am folgenden Tage gemachten Ablesungen ergaben

122,8
111,7
125,3
142,7
117,6
121,8
134,3

im Mittel 125,2 Milliontel Secunden.

Da die hin- und zurückgehende Leitung $2 \times 12{,}68 = 25{,}36$ Kilometer betrug, so ergiebt dies eine Geschwindigkeit von 202600 Km. oder 27300 geogr. Meilen in der Secunde. Es stellte sich hierbei heraus, dafs der durch die eine Spitze gehende directe Entladungsfunke der kleinen Flasche stets einen kleinen Büschel von Funkenmarken bildete, umgeben von einem gröfseren concentrischen Hofe, innerhalb dessen der Rufs fortgeschleudert war, während durch die zweite Spitze eine Serie von kleineren Funkenmarken gebildet wurde, die von keinem oder doch nur einem sehr schwachen Hofe umgeben waren.

Häufig war in der Linie der letzten Spitze, genau gegenüber der Lokal-Entladungsmarke, ebenfalls ein schwacher Punkt sichtbar. Derselbe war entweder Folge einer Rück- oder Seitenentladung vom Cylinder auf die benachbarte Spitze, oder wahrscheinlicher eine Influenzwirkung zwischen den zunächst dem Cylinder liegenden Theilen der an denselben Stangen befestigten hin- und rückkehrenden Leitung. Im Allgemeinen war die Local-Entladung weit stärker wie nothwendig, was den Nachtheil mit sich führte, dafs der erste Linienentladungspunkt häufig noch

in den Hof der Local-Entladung fiel und dadurch schwer zu erkennen war.

Durch eintretendes Thauwetter, bei welchem die Isolation der Telegraphenlinien für Fortleitung von Reibungselektricität nicht genügend ist, wurden die weiteren beabsichtigten Versuche für längere Zeit verhindert. Als später wieder Frostwetter eintrat, wurden uns von Hrn. Wehrhahn die von der Station Sagan ausgehenden Doppellinien nach Malmitz und einem zwischen Sagan und Malmitz liegenden Streckenblock zur Verfügung gestellt. Es gelang Hrn. Dr. Frölich, der sich mit den Apparaten nach Sagan begab, zwei werthvolle Beobachtungsreihen zu machen. Sie wurden zum Theil mit zwei, zum Theil mit einer Spitze gemacht. Es trat bei diesen Versuchen der Doppelpunkt stets auf und Hr. Dr. Frölich überzeugte sich durch eine Reihe von Controlversuchen, dafs dieser Doppel- oder vielmehr Anfangspunkt eine locale Ursache hatte und nicht von Elektricität herrühren konnte, welche die ganze Leitung durchlaufen hatte. Die Linien-Entladungen bilden hier einen ziemlich langen Schweif von 6 bis 8 Punkten, deren Abstand von einander anfangs etwa 30, am Ende 15 bis 20 Milliontel Secunden betrug und dem häufig ein kurzer Strich ohne deutliche Punkte folgte. Es harmonirt dies recht gut mit der obigen Erklärung des Auftretens von Entladungspunkten bei continuirlicher Entladung. Je stärker der Entladungsstrom ist, desto länger erhält sich der Entladungskanal auf der Peripherie des rotirenden Cylinders, desto weiter müssen also auch die Punkte auseinander liegen. Ist die Entladung nahe vollendet, so sind Stromstärke und Wärmeentwickelung so schwach, dafs sich gar kein Entladungskanal mehr erhalten kann, die Punktreihe mithin in einen schwachen Strich übergeht.

Es wurde zuerst die Doppellinie von Sagan bis zum 11,686 Km. entfernten Malmitz benutzt. Die Ablesung von 22 Entladungen ergab:

100,4	88,7	108,7	104,2
102,7	103,6	101,1	104,2
91,2	95,6	108,3	107,3
100,8	97,5	102,0	110,3
100,6	100,5	104,2	
91,4	104,7	102,5	

im Mittel 101,4 Milliontel Secunden. Da der durchlaufene Weg 2 . 11,686 Km. = 23,372 Km. lang war, so war die Geschwindigkeit 230500 Km. = 31060 geogr. Meilen.

Die demnächst eingeschaltete 3,676 Km. lange Doppellinie Sagan-Streckenblock ergab 12 Entladungen:

39,4	23,0
41,9	25,9
27,8	30,5
27,0	22,1
35,6	28,9
28,4	34,8

im Mittel 30,4 Milliontel Secunden. Es ergiebt dies eine Geschwindigkeit von 241800 Km. = 32590 geogr. Meilen.

Eine demnächst angestellte Serie von 13 Entladungen mit *einer* Spitze, welcher Dr. Frölich weniger Zutrauen schenkt, da die Regulirung des Laufwerks weniger sorgfältig ausgeführt war, gab:

87,8	78,2	80,8
76,4	96,3	96,3
84,5	93,1	93,5
93,2	85,5	101,2
		117,9

im Mittel 91,1 Milliontel Secunden, mithin eine Geschwindigkeit von 256600 Km. oder 34580 geogr. Meilen.

Wenn diese Messungen auch noch nicht den Grad von Uebereinstimmung ergeben, der von der Methode zu erwarten ist und der auch bei einer Wiederholung der Versuche unter günstigen Umständen erzielt werden wird, so ergeben sie doch zur Evidenz, dafs die Fortbewegung der

Elektricität in Leitern mit einer bestimmten, von der Länge der Leiter nicht abhängigen, Geschwindigkeit geschieht, die in Eisendrähten zwischen 30 und 35000 Meilen per Secunde liegt. Ich neigte mich vor diesen Versuchen, in Folge der mit dem Kautschukrohre erhaltenen Resultate, der Ansicht zu, dafs die wirkliche Geschwindigkeit der Elektricität unmefsbar grofs sey und dafs die durch Wheatstone (Pogg. Ann. Bd. 34, S. 464), Fizeau und Andere gefundenen Verzögerungen gänzlich auf Flaschenwirkung der oberirdischen Leitungen begründet wären.

Wenn dem so wäre, so müfste die fast 3mal so lange Leitung Sagan-Malmitz eine etwa 9mal gröfsere Verzögerung ergeben haben, wie die Leitung Sagan-Streckenblock, während die Geschwindigkeit nach den unter gleichen Bedingungen angestellten Versuchen mit Doppelspitzen sich wie 31 : 32,6 verhielt. Doch auch abgesehen von diesen, dem quadratischen Verzögerungsgesetze widersprechenden Zahlen ist die Verzögerung überhaupt viel zu grofs, um durch Ladungsverzögerung erklärt werden zu können. Die Flaschencapacität der beiden Leitungen wurde von Hrn. Dr. Frölich mit der continuirlichen Wippe nach der früher von mir zur Ermittelung der Ladungsgesetze benutzten Methode[1]) gemessen. Die Messung ergab:

Für Sagan-Malmitz	m. f.
Galvanometer im Ladungskreise	0,181
im Entladungskreise	0,120
im Mittel	0,1505
Für Sagan-Streckenblock:	
Galvanometer im Ladungskreise	0,066
im Entladungskreise	0,061
im Mittel	0,0635

was im Mittel eine Flaschencapacität der oberirdischen Leitung von 5 Mm. Drahtstärke von 0,053 m. f. pro Meile ergiebt.

Als Einheit der Capacität ist das in der Kabeltechnik eingeführte, aus der Weber'schen absoluten Einheit der

1) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 66.

Elektricitätsmenge abgeleitete sogenannte *Microfarad* (m. f.) angenommen.

Zur directen Vergleichung der gemessenen Verzögerungswerthe mit denjenigen, welche sich als Folge der Ladung der Drähte herausstellen müssen, können die Verzögerungsmessungen dienen, welche Hr. Dr. Obach mit Hülfe eines künstlichen Kabels, d. h. einer Serie von 32 Condensern à ca. 20 m. f., die durch Widerstände von je 550 E. untereinander verbunden waren, in meinem Laboratorio angestellt hat.

Die Messungen geschahen mit meinem ungemein empfindlichen elektrodynamischen (eisenfreien) Relais und einem chemischen Schreibtelegraphen mit Doppelnadel.

1. 32 Abtheilungen des Kabelschrankes wurden eingeschaltet. Sie repräsentirten einen Widerstand von 17600 Q.-E. = W und eine Capacität von 639,6 m. f. = C. Es ergab sich eine Verzögerung von 0,72 Sec. also pro Million des Productes Widerstand × Capacität (W. C.) von 0,0640 Sec.

2. 24 Abtheilungen eingeschaltet
   W = 13200 Q. E.
   C = 483,9 m. f.
   ergaben Verzögerung 0,45 Sec.
   pro Million W C. 0,0715

3. 16 Abtheilungen
   W = 8800
   C = 319,6
   ergaben Verzögerung 0,22
   pro Million W C. 0,078 Sec.

Es giebt dies im Mittel eine Verzögerung für 1 Million W C. von 0,0712 Sec.

Die Leitung Sagan-Malmitz und zurück hat nach der von Hrn. Dr. Frölich ausgeführten Messung

eine Capacität C = 0,151 m. f.
Widerstand W = 189,0 Q. E.
mithin W C. = 28,5;

hiernach könnte durch die Flaschenladung, unter Annahme

des quadratischen Gesetzes, nur eine Verzögerung von 2,0 Milliontel Secunden herbeigeführt seyn, während sie für die Linie Sagan-Streckenblock nur 0,3 Milliontel Secunden betragen könnte.

Zieht man nun auch in Betracht, daſs diese Verzögerungszeiten wesentlich gröſser ausfallen muſsten, wie bei den Kabelmessungen, weil längere Zeit verging, bis das elektr. Potential der funkengebenden Spitze so groſs war, daſs der Funke zum Cylinder überspringen konnte, so ist es doch evident, daſs z. B. die auf der Strecke Sagan-Streckenblock *gemessene* Verzögerung von 30,4 Milliontel Secunden anderen Ursprungs seyn muſs, als die auf 0,3 Milliontel Secunden *berechnete* Flaschenverzögerung.

Ich hoffe im Laufe dieses Winters Gelegenheit zu finden, nicht nur die obigen Versuche unter besseren Verhältnissen und mit verbesserten Vorrichtungen wiederholen, sondern sie auch auf eine Kupferleitung ausdehnen zu können, um durch directe Messungen die Frage zu entscheiden, ob die Geschwindigkeit der Elektricität von der Natur des metallischen Leiters abhänge oder nicht. Nach den mit dem mit Zinkvitriollösung gefülltem Kautschukrohre angestellten Versuchen erscheint mir letzteres wahrscheinlich. Kirchhoff hat unter Zugrundelegung des Weber'schen Fundamentalgesetzes für die Bewegung der Elektricität die Zahl 41000 Meilen für die Geschwindigkeit der Elektricität in Leitern durch Rechnung gefunden und ist dabei zu dem Resultat gekommen, daſs diese Geschwindigkeit gleich groſs in allen Leitern seyn müsse. Unsere Messungen schlieſsen sich dem Kirchhoff'schen Werthe wenigstens weit näher an, wie dem von Wheatstone aus dem Zurückbleiben des mittleren Funkens geschätzten von 61900 geogr. Meilen.

Fizeau und Gounelle haben mit Hülfe ihrer Differentialmeſsmethode für galvanische Ströme in Telegraphenleitungen für Kupfer 177792 Km., für Eisen 101710 Km. gefunden, für Eisen also nur eine etwa halb so groſse Geschwindigkeit wie unsere Messungen ergeben haben.

Noch weit geringere Geschwindigkeitswerthe haben Walker, Mitchell und Gould auf amerikanischen Telegraphenlinien mit elektromagnetischen Registrirapparaten gefunden, letzterer sogar nur 12851 englische Meilen. Auf diese Messungen ist jedoch kein grofses Gewicht zu legen, da die Trägheit der elektromagnetischen Instrumente zu grofs und ungleich für die Messung so kleiner Zeittheile ist. Von weit gröfserem Gewichte erscheinen die Messungen von Fizeau und Gounelle. Dieselben haben den verzögernden Einflufs der Ladung, auf den ich erst nach Anstellung ihrer Versuche aufmerksam machte, keine Rücksicht nehmen können und es fehlen in der Beschreibung ihrer Versuche auch die nöthigen Data, um die Ladungs-Verzögerung nachträglich berechnen zu können. Wenn aber auch die Ladungsverzögerung der verhältnifsmäfsig grofsen Länge ihrer Leitung wegen (ca. 300 Km.) über 1000 mal gröfser wie bei meinen Versuchen seyn müfste, so reicht sie doch zur Erklärung der Differenz noch nicht aus. Ich glaube daher, dafs auch die von Fizeau gefundene Verschiedenheit der Geschwindigkeit der Elektricität in Eisen und Kupfer noch nicht als constatirt anzusehen ist.

X. *Die Bedeutung von Drahtnetzen in der Elektricitätslehre; von W. Holtz.*

I. Eine neue Form eines beliebten Fundamentalversuchs.

Ein Drahtnetz ist eine leitende und zugleich eine durchsichtige Fläche, wie es deren kaum eine zweite giebt. Darum scheint es mir besonders geeignet zur Anstellung solcher Versuche, welche beweisen sollen, dafs die Elektricität sich nur auf der Oberfläche leitender Körper an-

sammle, oder dafs im Innern geschlossener leitender Flächen keine elektrostatische Wirkung bestehe.

Sehen wir von dem bekannten Faraday'schen Versuche, welcher für Schulen wenig geeignet ist, ab, so pflegt jener Satz experimentell immer nur indirect bewiesen zu werden. Man elektrisirt z. B. eine Kugel, schliefst diese in eine zweite ein, welche aus zwei Hälften besteht, von denen jede mit einem isolirenden Griffe versehen ist, trennt die Kugeln wieder und zeigt nun am Elektroskop, dafs die Elektricität von der ersten auf die zweite übergegangen ist. Ganz unelektrisch wird jedoch die erste nur selten gefunden werden, da bei der Trennung leicht wieder eine rückgängige Bewegung statt hat. Oder man elektrisirt eine gröfsere, biegsame Metallfläche, welche sich mittelst einer isolirenden Vorrichtung aufrollen läfst, und zeigt mit Hülfe des Elektroskops, dafs die Dichtigkeit der Ladung in dem Maafse zunimmt, als sich die Oberfläche verkürzt, woraus geschlossen wird, dafs der innere aufgerollte Theil ebenso schnell seine Ladung verloren hat. Statt des Elektroskops pflegt man sich auch wohl zweier mit der Fläche communicirender Hollundermarkkügelchen zu bedienen. Oder endlich, man legt ein Probescheibchen das eine Mal an die äufsere, das andere Mal an die innere Seite einer zum gröfsten Theil geschlossenen, vorher elektrisirten Fläche, und zeigt wieder mit Hülfe eines Elektroskops, dafs es nur im ersten Falle eine Ladung angenommen hat. Absolut unelektrisch wird es jedoch auch im zweiten Falle schwerlich seyn, weil die Fläche nicht ganz geschlossen war, und weil auch beim Herausheben leicht eine kleine Ausgleichung statt haben dürfte.

Viel instructiver, meine ich, und mehr in die Augen fallend läfst sich der fragliche Satz unter Benutzung eines Drahtnetzes in Form einer Glocke beweisen. Solche Glocke, wie sie im Handel für wenige Groschen käuflich ist, wird an Stelle des an ihrem Gipfel befindlichen Ringes mit einem isolirenden Griffe versehen; oder, wo dies zu umständlich, knotet man in den Ring einen seidenen

Faden, oder man bedient sich zum Aufheben einer hindurchgesteckten Stange aus Siegellack. Zuvor ist eine gröfsere metallische Hohlscheibe — am einfachsten der Deckel eines Elektrophors mit seinem Griff nach unten, oder auch ohne diesen Griff — auf einem isolirenden Stativ befestigt, welches womöglich so hoch ist, dafs der Scheibenrand direct den Conductor einer Elektrisirmaschine oder die ausgezogene linke Entladungsstange einer Influenzmaschine berührt. Im Nothfalle kann man die Scheibe auch auf einige Siegellackstücke legen und zur Verbindung ein entsprechendes Drahtende benutzen. Auf die Scheibe stellt man ein kleines Elektrometer, bestehend aus einem einfachen Holzstativ und zwei von diesem herabhängenden Hollundermarkkügelchen. Wird nun über eine solche Vorrichtung die Drahtglocke gesetzt, während die Maschine in Thätigkeit und der andere Pol abgeleitet ist, so werden die Kügelchen ohne fernere Manipulationen, welche in No. 2 dieser Mittheilung ihre Erwähnung finden, nicht die geringste Bewegung machen, auch nicht, wenn man die Ladung der Scheibe ruckweise d. h. durch Funkenziehen verschwinden läfst; sie werden aber sofort auf's Heftigste divergiren, sobald die Glocke ganz oder nur theilweise abgehoben wird.

Tritt keine Einwirkung auf einen unelektrischen Körper ein, so darf auch keine solche auf einen elektrischen Körper statt haben, soweit nicht etwa dieser seine Elektricität selbst allmählig an die nahe metallische Umgebung verliert. Das zeigt sich, wenn man das kleine Stativ auf eine vorher elektrisirte Hartgummischeibe oder besser in ein vorher elektrisirtes Glas- oder Porzellanschälchen stellt, und, bevor die Maschine ihre Thätigkeit beginnt, über das Ganze die Drahtglocke deckt. Die frühere Divergenz bleibt alsdann einige Zeit constant, und nimmt nur sehr allmählig ab.

Stellt man an Stelle des Elektrometers eine Wachskerze auf die Scheibe, so macht sich der Einflufs der Glocke in ähnlicher Weise geltend. Die Flamme brennt

ruhig, so lange jene sie schützt, während sie heftig flackert, wenn jene abgehoben wird.

Vertauscht man die Drahtglocke mit einer Glasglocke, welche man innen oder aufsen feucht gemacht hat, so ist kein wesentlicher Unterschied zu spüren, zumal, wenn man die Maschine im Anfang nur langsam wirken läfst; ist die Glasglocke jedoch trocken und von gut isolirender Masse oder lackirt, so währt es lange Zeit, bis sich an ihrer Oberfläche soviel Elektricität angesammelt hat, dafs die Kügelchen nicht mehr divergiren. Man kann aber der Ansammlung an der inneren Fläche dadurch zu Hülfe kommen, dafs man die äufsere an verschiedenen Punkten ableitend berührt.

Vielleicht wäre es von Interesse auch Drahtnetze anderer Façon zu prüfen — die Kugelform liefse sich leicht durch Combination zweier Glocken gewinnen —, oder Netze aus Gaze oder aus anderen halbleitenden Stoffen, weil die Anordnung der Elektricität auf Halbleitern überhaupt noch wenig untersucht ist, oder Netze von verschiedener Maschengröfse, weil sich hier gewissermafsen eine neue Klasse leitender Flächen aufthut, wo sich die Leitungsfähigkeit an die Richtung einzelner Linien knüpft, und wo die elektrostatische Wirkung allein durch die Entfernung dieser Linien bedingt ist. Die Maschengröfse von 2 Mm., wie ich solche bisher nur benutzte, wirkt in letzterer Hinsicht wie eine volle Fläche, aber es ist einzusehen, dafs bei allmähliger Vergröfserung ein Punkt eintritt, wo sich eine andere Wirkung documentirt.

Vielleicht gelingt es auch mit Hülfe von Drahtnetzen am besten, die elektrostatische Wirkung, welche häufig für die Beobachtung der elektrodynamischen sehr störend ist, durch geeignete Umhüllungen der in Betracht kommenden Stücke zu eliminiren.

2. Trennung der Elektricitätsbewegung von der Bewegung materieller Theile.

Ein Drahtnetz ist eine leitende und zugleich eine durchlässige Fläche, und dies gestattet unter gewissen Bedingungen die Elektricitätsbewegung von der Bewegung materieller Theile zu sondern. Ein Drahtnetz ist ein Filtrum, ein Sieb, welches die Elektricität selbst zurückhält, während es luftförmigen, flüssigen oder staubförmigen Stoffen, welche von jener bewegt werden, einen theilweisen Durchgang erlaubt.

Dieser filtrirende Einfluſs zeigt sich bei der in No. 1 besprochenen Anordnung, sobald man der elektrisirten Glocke eine abgeleitete Spitze nähert. Denn von spitzen Gegenständen geht ja vorzugsweise neben der elektrischen auch eine starke Bewegung materieller Theile aus. Die Hollundermarkkügelchen bleiben alsdann nicht mehr ruhig, sie werden vielmehr nach der entgegengesetzten Richtung getrieben, desgleichen eine Flamme, welche man sogar mit leichter Mühe zum Verlöschen bringen kann. Daſs dies keine elektrische Wirkung sey, folgt einmal schon daraus, daſs sich die Kügelchen wohl bewegen, aber nicht divergiren, ferner daraus, daſs Kügelchen sowohl als Flamme niemals angezogen, sondern immer nur fortgestoſsen werden. Endlich läſst sich dasselbe durch folgenden Versuch beweisen. Stellt man unter die Glocke ein Schälchen mit Terpentinöl gefüllt, in welchem ein Hollundermarkkügelchen schwimmt, so bewegt sich dasselbe bei Annäherung der Spitze gleichfalls in entgegengesetzter Richtung fort. Ganz ebenso, und ebenso schnell bewegt es sich aber, wenn man den flüssigen Isolator mit Wasser vertauscht, und doch müſste die Wirkung, wäre sie eine elektrische, je nach der leitenden Beschaffenheit des umgebenden Mediums eine ganz verschiedene seyn.

Sind Bewegungserscheinungen unter Drahtnetzen somit als keine directen elektrischen Wirkungen zu betrachten, so läſst sich aus diesen rückwärts ein Schluſs auf die

Natur ähnlicher unter gewöhnlichen Verhältnissen beobachteten Bewegungserscheinungen ziehen. So sieht man z. B., wenn man der Oberfläche einer isolirenden Flüssigkeit eine elektrisirte, oder wenn man der elektrisirten Flüssigkeit eine abgeleitete Spitze nähert, gröfsere oder geringere Vertiefungen entstehen. Solche Vertiefungen bilden sich auch mit kleineren Kugeln, viel weniger mit grofsen; und dies läfst vermuthen, dafs sie mit der Entstehung des Glimmlichtes oder des Büschels zusammenhängen. Aber unmöglich ist es, ohne Weiteres zu entscheiden, ob ihre Bildung durch directe elektrische Einwirkung oder durch die Bewegung der elektrisirten Luft erfolgt. Denn denkbar ist es sehr wohl, dafs die durch Ausströmung elektrisirte Oberfläche sich gleichfalls von der Spitze, weil mit ihr gleichnamig elektrisch, in Form einer Vertiefung zu entfernen strebt. Allein ebensolche Bildung, nur begreiflicher Weise weniger ausgedehnt, erfolgt unter Drahtnetzen, wenn man diesen eine Spitze nähert, und da sie hier nur unter dem Einflufs der Luftbewegung erfolgen kann, so läfst sich vermuthen, dafs diese auch dort die Hauptursache sey. Ich sage die Hauptursache, weil ich zunächst nur eine bestimmte Klasse von Vertiefungen im Auge habe, diejenigen nämlich, welche bei lautloser elektrischer Ausgleichung erfolgen. Ich werde an einer anderen Stelle zeigen, dafs sich auf der Oberfläche isolirender Flüssigkeiten sehr verschiedene Eindrücke, mehr oder weniger den Lichtenberg'schen Figuren ähnlich, erzeugen lassen und dafs sich der Charakter solcher Zeichnungen weniger nach der Art der Elektricität, als nach der leitenden Beschaffenheit der Flüssigkeit und der Form der Entladung richtet. An dieser Stelle sollte nur ein Beispiel für die Bedeutung der Drahtnetze mit Rücksicht auf ihre anfangs bezeichneten Eigenschaften gegeben werden.

Der Werth solcher Beobachtungen für verschiedene andere Bewegungserscheinungen läfst sich nach den bisherigen Versuchen noch nicht übersehen. Ich versuchte,

ob in pulverförmigen, unter dem Drahtnetz befindlichen Körpern, durch eine aufserhalb desselben stattfindende Entladung eine Bewegung veranlafst würde, fand aber diese Vermuthung bisher nicht bestätigt, vielleicht, weil die Maschenweite zu klein, oder die Form des Experimentes auch sonst keine günstige war. Für die Theorie der, wie ich meine, noch immer nicht genügend erklärten Staubfiguren, wäre es wohl wünschenswerth, ein besseres Resultat zu gewinnen.

Den Einflufs der Luftbewegung auf die elektrischen Lichterscheinungen hoffe ich am besten durch Anwendung von Drahtnetzelektroden constatiren zu können. Solche Elektroden lassen sich, theilweise wenigstens, aus den im Handel käuflichen Formen solcher Gewebe durch Zusammenstellung oder Abänderung derselben gewinnen. Ueber den Erfolg ihrer Anwendung gedenke ich später zu berichten.

Hier möchte ich zum Schlufs noch einer hübschen Erscheinung gedenken, welche zwar ihrer Bedeutung nach nicht in den Kreis dieser Betrachtung gehört, aber doch der Durchlässigkeit des Drahtnetzes ihre Entstehung verdankt, auch Demjenigen, welcher die obigen Versuche wiederholen sollte, schwerlich entgehen dürfte. Ist die unter dem Netze brennende Flamme nämlich sehr grofs oder hoch oder seitlich gestellt, so dafs sie mit ihrem gröfseren Theile die leitende Fläche durchdringt, so brennt auch dieser Theil viel ruhiger, als eine unter gewöhnlichen Verhältnissen elektrisirte Flamme brennen würde; und es treten in Folge dessen besser, wie an solcher, die polaren Formverschiedenheiten hervor. Ist die Flamme positiv elektrisch, so bildet sie eine lange, scharfe und schlanke Spitze, welche man durch Annäherung einer gröfseren Fläche noch verlängern und aus ihrer ursprünglichen Richtung, welche theilweise durch die Form der Glocke bestimmt wird, ablenken kann. Eine solche Flamme wirkt auch, wie eine vollkommene Spitze, da man aus oder neben derselben keine Funken erhalten kann. Anders dagegen bei

negativer Elektrisirung. Die Flamme bildet nun einen niedrigen, ganz stumpfen, fast halbkugelförmig verrundeten Kegel, und solche Flamme hat kaum die Wirkung einer Spitze, da man aus und neben derselben noch lange Funken erhält. Der Versuch gelingt am besten mit einer Spiritusflamme, welche ohne Elektrisirung mit ihrer halben Länge etwa die Drahtfläche überragt. Aber nicht immer bildet die Flamme einen Kegel, sey es einen stumpfen, sey es einen schlanken, sondern zuweilen theilt sie sich in eine Reihe kleiner, schwach divergirenden Spitzen. Auch bleibt sie nicht immer so ruhig, als vorhin bemerkt, sondern nimmt zuweilen eine von einem leisen singenden Geräusche begleitete periodisch zitternde Bewegung an.

Ueberraschend ist beim Gebrauche von Drahtnetzen, sey es mit, sey es ohne Flamme, die starke sich auf grofse Entfernung erstreckende Zerstreuung der Elektricität.

XI. *Ueber Aetzfiguren an Steinsalzwürfeln und über die von F. Exner angewandte Methode zur Erzeugung von Lösungsfiguren; von L. Sohncke.*

Ueber diejenigen Figuren, welche unter der Einwirkung einer auflösenden Flüssigkeit auf der Oberfläche von Steinsalzwürfeln entstehen, liegen zwei abweichende Angaben vor: Die eine von Leydolt, von welchem bekanntlich diese Methode zur Erforschung der Krystallstructur herrührt, die andere von F. Exner. Ersterer ist, wie aus seiner grundlegenden Arbeit: „Ueber eine neue Methode, die Structur und Zusammensetzung der Krystalle zu erforschen“ u. s. f. [1]) hervorgeht, auf seine Methode gerade durch die Beobachtung jener Figuren geführt worden,

1) Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1855, Bd. 15, S. 59—81.

welche das Steinsalz nach längerem Liegen in feuchter Luft auf den Würfelflächen zeigt. Leydolt beschreibt sie als vierflächige Vertiefungen, gebildet von den Flächen desselben Pyramidenwürfels ($a : 2a : \infty a$), in welchen sich nach Mohs (vergl. seine „Mineralogie") ein Steinsalzwürfel nach und nach verwandelt, wenn er in sehr feuchter Luft liegt. Exner [1]) dagegen erhielt, als er einen feinen Wasserstrahl kurze Zeit senkrecht gegen eine Steinsalzwürfelfläche wirken liefs, quadratische Figuren, deren Seiten parallel den Würfelkanten lagen, deren Ecken aber nie scharf erhalten werden konnten, sondern stets etwas abgerundet erschienen. — Bei Wiederholung der Exner'schen Versuche fand ich sein Resultat völlig bestätigt: Da wo der Strahl auftritt, entsteht nicht eine pyramidale, sondern nur eine unbestimmt rundliche Vertiefung, deren Rand von einem Quadrat mit stark abgerundeten Ecken gebildet wird. Die wenig scharfe Ausbildung der Figuren schien mir eine Folge der zu heftigen Lösungswirkung zu seyn: daher änderte ich das Verfahren dahin ab, dafs ich mit einer minder heftig wirkenden Substanz spritzte, nämlich mit einer fast concentrirten Lösung von Steinsalz in Wasser. In der That änderte sich die Erscheinung. Doch entstand nicht, wie ich erwartet hatte, *eine* gröfsere Figur von scharf quadratischem Umrifs, sondern eine flache rundliche Vertiefung, die mit vereinzelten kleinen vierflächig pyramidalen Vertiefungen von paralleler Stellung bedeckt war. Am Boden der Vertiefungen findet sich bisweilen statt der Pyramidenspitzen ein kleines Quadrat, parallel jenem, welches den Rand der Vertiefung bildet. Der quadratische Rand ist bisweilen etwas verzerrt. Dieselben Aetzfiguren bilden sich zahlreicher und deutlicher, wenn man den Steinsalzwürfel einfach in die Lösung hineinhängt, in der er dann mehrere Stunden bleiben mufs. Bei tagelangem Verweilen in der Flüssigkeit schärfen sich die Kanten zu, und der Würfel verwandelt

1) Ueber Lösungsfiguren an Krystallflächen. In den Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. 69, Abth. II, 1874. Auch in Pogg. Ann. Bd. 153.

sich in einen freilich sehr rundlichen und kaum genauer bestimmbaren Pyramidenwürfel.

Auf Grund der mitgetheilten Erfahrungen wird man wohl nicht fehl greifen, wenn man die Verschiedenheit der Leydolt'schen und der Exner'schen Beobachtungen einfach darauf zurückführt, dafs bei dem Exner'schen Verfahren die Ausbildung scharfer und regelmäfsiger Figuren durch die viel zu heftig erfolgende Auflösung des Salzes verhindert wird. Es ist ja auch bei der Erzeugung von Aetzfiguren auf dem bisher üblichen Wege eine bekannte Bedingung für das Zustandekommen möglichst regelmäfsiger und deutlicher Figuren, dafs man als Lösungsmittel nur eine langsam wirkende, schwach ätzende Flüssigkeit zu wählen hat.

Dafs das Exner'sche Verfahren zur Hervorrufung der Lösungs- oder Aetzfiguren keine wesentlichen Vorzüge vor den bisher üblichen besitzt, bestätigte sich mir auch bei der Wiederholung seiner Versuche am *Alaun*. Wie schon Leydolt a. a. O. angiebt, entstehen auf den Octaëderflächen des Alaun unter Einwirkung von Wasser, dreiseitig pyramidale Vertiefungen; der Umrifs einer jeden ist ein gleichseitiges Dreieck von umgekehrter Lage als die (ebenfalls gleichseitig dreieckige) Octaëderfläche. Am Boden der Vertiefung findet sich auch wohl ein kleines, dem oberen Rande paralleles gleichseitiges Dreieck. — Anders ist die Figur, welche durch einen feinen, senkrecht gegen eine Alaunoctaëderfläche gerichteten, Wasserstrahl auf ihr gebildet wird. Der Rand der hier entstehenden Vertiefung gleicht einem gleichseitigen Dreieck mit abgestumpften Ecken (einem „halbregelmäfsigen" Sechseck, wie ich eine solche Figur zu nennen an einem anderen Orte vorgeschlagen habe). Aber auch hier sind sämmtliche sechs Ecken nicht scharf ausgebildet, sondern stark gerundet; und es scheint mir, dafs man dies Sechseck als ein, wegen zu heftiger Lösungswirkung nicht zu ordentlicher Ausbildung gelangtes, gleichseitiges Dreieck anzusehen habe, wie es ja bei langsamem Aetzen wirklich ent-

steht, entsprechend wie beim Steinsalz die Quadrate mit rundlichen Ecken nur mangelhaft ausgebildete Quadrate sind. Die Höhlung selbst hat eine durchaus rundliche Oberfläche; die Pyramidenkanten der gewöhnlichen Aetzfiguren sind eben auch durch den tumultuarischen Lösungsvorgang nicht zur deutlichen Ausbildung gekommen.

Nach allem Vorstehenden scheint es mir nicht, daſs man durch Verfolgung des von F. Exner eingeschlagenen Weges wesentliche Erweiterungen unserer Kenntniſs von der Structur oder sonstigen Eigenschaften der Krystalle zu erwarten hat.

Ich kehre zu den Aetzfiguren am Steinsalz zurück. Dieselben sollen nach Leydolt's Angabe durch die Flächen des von Mohs beim Steinsalz beobachteten Pyramidenwürfels ($a : 2a : \infty a$) gebildet werden; indessen scheint aus Leydolt's Worten hervorzugehen, daſs er dies Resultat nicht durch Messungen festgestellt, sondern für selbstverständlich gehalten hat. Ich habe nun eine gröſsere Reihe von Messungen angestellt, um das krystallographische Zeichen der die Aetzfiguren bildenden Flächen zu ermitteln. Die Messungen sind sehr unsicher; denn abgesehen davon, daſs die mit bloſsem Auge kaum wahrnehmbaren Vertiefungen am Goniometer mikroskopisch eingestellt werden müssen, sind sie auch zu klein, zu rundlich und zu rauh, als daſs sie, selbst von einem hellleuchtenden Object, ein Bild zu liefern vermöchten. Daher war ich auf das schon von G. Rose, bei der Messung der durch theilweises Verbrennen hervorgerufenen Aetzfiguren am Diamant, angewandte Verfahren beschränkt, wonach man die kleine Fläche so einstellt, daſs sie von einer nahen Flamme den hellsten Reflex giebt. Um dem von der Flamme her einfallenden Lichte möglichst eine bestimmte Richtung zu geben, lieſs ich nur ein sehr schmales Strahlenbündel auf den Krystall fallen, welches durch zwei kleine hintereinander angebrachte Löcher zweier Schirme gegangen war. Solche Messungen führte ich an Steinsalzätzfiguren ver-

schiedenen Ursprungs aus, nämlich 1) an solchen, die ich an einem Steinsalzwürfel schon fertig vorfand, vielleicht durch langes Liegen in feuchter Luft entstanden (?), 2) an Figuren, entstanden unter der Wirkung eines Strahls von fast concentrirter Salzlösung, 3) und 4) an Figuren, die durch 6-, resp. 15-stündiges Hängen von Steinsalz in jener Lösung entstanden waren.

Verschiedene Einstellungen derselben Pyramidenfläche auf die gröfste Intensität des Lichtreflexes weichen bedeutend von einander ab; nämlich bei den besseren der untersuchten Pyramidenflächen betrug die gröfste Differenz unter den wiederholten Ablesungen 1 bis $1\frac{1}{2}^0$, bei den schlechter spiegelnden aber sogar etwas über 3^0. Daher wurden bei den besseren Flächen die Einstellungen etwa sechsmal, bei den schlechtern doppelt so viele, gemacht; oder der betreffende Winkel wurde aufserdem noch mit drei- bis sechsmaliger Repetition gemessen. So ist jede der folgenden Zahlen das Mittel sehr vieler Messungen. In der Regel maafs ich den Normalenwinkel *w* zweier benachbarter Pyramidenflächen, nur in einem Fall denjenigen von zwei gegenüberliegenden Flächen; doch gebe ich statt des letzteren den aus ihm berechneten Normalenwinkel *w* zweier Nachbarflächen an; es ist die erste Zahl der folgenden Tabelle.

1) Aetzfiguren unbekannten Ursprungs.		2) Aetzfiguren durch Anspritzen mit Salzlösung.	
Pyramide.	Winkel *w*.	Pyramide.	Winkel *w*.
No. 1. Erstes Flächenpaar	7° 34′	1	7° 18′
No. 1. Zweites Flächenpaar	7° 46′	2	7° 22′
No. 2.	8° 40′	3	8° 15′

3) Aetzfiguren durch 6-stündiges Hängen in Salzlösung.		4) Aetzfiguren durch 15-stündiges Hängen in Salzlösung.	
Pyramide.	Winkel *w*.	Pyramide.	Winkel *w*.
No. 1. Erstes Flächenpaar	7° 25′	1	8° 49′
No. 1. Zweites Flächenpaar	8° 50′	2	3° 1′
No. 2.	8° 32′	3	10° 37′
No. 3.	8° 54′	4	12° 38′
No. 4.	9° 12′	5	14° 14′
No. 5.	11° 1′ [unsicher]		

Um die Bedeutung dieser Zahlen hervortreten zu lassen, stelle ich die Werthe des Coëfficienten n in dem Flächenzeichen des Pyramidenwürfels $(a : na : \infty a)$ zusammen, welche verschiedenen Werthen des Winkels w entsprechen.

w	7°	8°	8° $4\frac{1}{6}$′	8° $57\frac{1}{4}$′	9°	14°
n	11,55	10,09	10	9	8,96	5,72

Die beobachteten Aetzfiguren werden also von Flächen gebildet, angehörig Pyramidenwürfeln, die zwar sämmtlich ziemlich flach, aber doch von sehr verschiedener Neigung zu seyn scheinen, enthalten zwischen den Extremen $(a : 5{,}7\,a : \infty a)$ und $(a : 11{,}5\,a : \infty a)$.

Am häufigsten sind Flächen von solcher Lage, dafs sie den Pyramidenwürfeln

$$(a : 9\,a : \infty a) \text{ und } (a : 10\,a : \infty a)$$

anzugehören scheinen; jedenfalls aber kommt der von Leydolt angenommene Pyramidenwürfel $(a : 2a : \infty a)$ bei den von mir untersuchten Aetzfiguren gar nicht vor. Nach den

vorstehenden Messungen ist es wahrscheinlich, dafs die Aetzfiguren am Steinsalz gar nicht auf einen bestimmten Pyramidenwürfel bezogen werden können.

XII. *Bemerkungen zu Dr. L. Hermann's: Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündel durch Linsen etc.*[1]; *von Dr. Hugo Krüfs in Hamburg.*

Im letzten Bande des Jahres 1874 dieser Annalen machte Hr. Professor Dr. Ludimar Hermann in Zürich eine Mittheilung über eine von ihm unter obigem Titel verfafste Abhandlung, in welcher er analytische Formeln entwickelte zur Auffindung des durch ein System von brechenden Flächen entworfenen Bildes eines Punktes, welcher zwar mit der Axe dieses Systemes in einer Ebene, aber nicht in der Axe selbst liegt. Von Strahlen, welche von diesem Punkte ausgehen und das System unter einem Winkel gegen die Axe treffen, sagt er, sie hätten eine „schiefe Incidenz" und ihren Durchgang durch das System nennt er einen „schiefen Durchgang".

Ohne auf die Ausführungen der besagten Abhandlung näher eingehen zu wollen, mufs ich einige kurze Bemerkungen knüpfen an eine Notiz, welche Hr. Hermann in der Einleitung zu seiner Arbeit (S. 6) macht. Er sagt nämlich, dafs „abgesehen von seinen in den folgenden Paragraphen enthaltenen allgemeinen Principien, eine specielle und directe Behandlung der auf die Theorie der Brechung schief auffallender Strahlenbündel bezüglichen

1) Dr. Ludimar Hermann: Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und über eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse. 4. Zürich, Orell Füfsli u. Co. 1874.

Fälle nicht zu existiren scheint." (Nach Abschlufs seiner Arbeit fand Hr. Hermann eine Behandlung dieses Falles in einer Dissertation von G. Krech[1])). Nun ist aber im Laufe der letzten 20 Jahre von mehreren Gelehrten gerade der von Hrn. Hermann angezogene Fall theilweise in sehr erschöpfender Weise behandelt worden, von diesen Arbeiten scheint Hermann bei Abfassung seiner Abhandlung nicht unterrichtet gewesen zu seyn, weshalb ich hier eine kurze geschichtliche Uebersicht der Entstehung derselben geben will.

Nachdem das 18. Jahrhundert auf dem Gebiete der Dioptrik die sehr werthvollen Arbeiten Euler's hervorgebracht hatte, erweiterte sich in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts die mathematische Theorie der optischen Instrumente durch das Betreten eines ganz neuen Weges, welchen Möbius[2]) zuerst anbahnte. Ihm folgten Gaufs[3]) und Bessel[4]) mit der Feststellung der Theorie der Cardinalpunkte eines Systems centrirter brechender Flächen. Man war nun im Stande, solche Lichtstrahlen, welche mit der optischen Axe eines Systemes in einer Ebene liegen und deshalb auch alle Brechungen in dieser Ebene erleiden, durch dasselbe zu verfolgen; es war aber noch unmöglich, das Bild eines beliebigen Punktes im Raum festzulegen und nach allen Richtungen hin zu untersuchen. Diesem Uebelstande wurde in vorzüglicher Weise abgeholfen durch Professor Dr. Seidel in München, welcher seine Arbeiten an die Euler'schen Entwickelungen anknüpfte. Seidel[5]) setzte an Stelle der

1) G. Krech: *De luminis fascibus infinite tenuibus.* 4. *Berolini,* 1863.
2) A. F. Möbius: Kurze Darstellung der Haupteigenschaften eines Systems von Linsengläsern. Crelle's Journal f. Mathematik Bd. V, S. 113, 1830.
3) C. F. Gaufs: Dioptrische Untersuchungen. Abh. d. kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen Bd. I, 1838—41.
4) F. W. Bessel: Ueber die Grundformeln der Dioptrik, Schumacher's Astr. Nachr. 1841, No. 415.
5) L. Seidel: Zur Theorie der Fernrohrobjective. Astr. Nachr. 1852 bis 1853, No. 835. Zur Dioptrik. Astr. Nachr. 1853—54, No. 271.

Kettenbrüche von Möbius und Bessel eine weit bequemer zu berechnende Summe, indem er anstatt der Längen in der Axe die Entfernungen von der Axe einführte, in denen die einzelnen Flächen von den Strahlen geschnitten werden, sowie die Winkel, welche letztere mit der Axe bilden. Er entwickelte sodann Formeln[1]), welche den Fehler im Bilde eines Punktes aufser der Axenebene darstellt. Der Ausdruck, welchen er dafür findet, setzt sich aus fünf Summen zusammen und das Verschwinden einer jeden Summe zeigt an, dafs der Fehler in gewisser Beziehung gehoben ist, wenn bereits dafür gesorgt wurde, dafs auch die vorhergehenden Summen verschwinden. Schon diese Arbeiten gehen weiter, als Hrn. Hermann's Abhandlung, indem sie nicht der Einschränkung unterworfen sind, dafs der Objectpunkt in der Axenebene liegen mufs. Mit ihrer Hülfe kann man das Bild eines jeden Punktes finden; man kann bei gegen die Axe geneigt einfallenden Strahlbündeln die Brennweiten (oder bei endlichem Abstande des Objectes Vereinigungsweiten) in zwei auf einander senkrechten Richtungen und damit die Differenz dieser Brennweiten d. i. die Brennstrecke ermitteln. Dieses erreicht Hr. Hermann vermittelst seiner neuen Formeln nur in Folge der angegebenen Einschränkung, also in nicht so allgemeiner Form wie Seidel.

Es ist aber die Anwendung derartiger analytischer Entwickelungen, welche ja nur Näherungswerthe geben können, in der rechnenden Dioptrik nur in sehr wenig

1) L. Seidel: Ueber die Entwickelung der Glieder dritter Ordnung, welche den Weg eines aufserhalb der Ebene der Axe gelegenen Lichtstrahls durch ein System brechender Medien bestimmen. Astr. Nachr. 1856, No. 1027—1029. Diesen Arbeiten von Seidel schliefsen sich die gleichzeitig begonnenen beiden Abhandlungen an:

G. A. Keller: Zur Dioptrik. Entwickelung der Glieder fünfter Ordnung. Gekrönte Preisschrift. München 1865.

H. L. Bauer: Zur Theorie dioptrischer Instrumente. München, 1866. Beide mufsten sich bei der Entwickelung der Glieder fünfter Ordnung auf Strahlen, welche in einer Ebene mit der Axe liegen, beschränken, um die Uebersichtlichkeit der Formeln zu wahren.

Fällen zulässig; die Oeffnungen der optischen Apparate sind nicht verschwindend klein, sondern im Gegentheil von erheblicher Gröfse, dürfen also gewifs nicht vernachlässigt werden. Deshalb mufs sich der Praktiker nach strengen trigonometrischen Formeln umsehen, welche bei der Verfolgung der Strahlen durch ein System eine solche Genauigkeit gestatten, wie die angewandten Logarithmen sie zulassen. Bei den steigenden Anforderungen an das Gesichtsfeld der optischen Instrumente müssen aber auch die aufser der Axenebene liegenden Strahlen in Betracht gezogen werden. Während dieses früher zwar als möglich zugegeben werden mufste, schienen sich doch grofse rechnerische Schwierigkeiten darzubieten, denen aber Seidel durch seine allgemeinen trigonometrischen Formeln Abhülfe verschaffte[1]). Seidel's chliefst sich den Entwickelungen Gaufs' möglichst an und bezieht die Stücke, durch welche die Lage der Strahlen bestimmt wird, auf Ebenen, welche er senkrecht zur optischen Axe durch die Krümmungsmittelpunkte der brechenden Flächen legt. Durch diese Wahl erhalten die Formeln eine grofse Einfachheit und Uebersichtlichkeit. — Wenn nun schon die analytischen Formeln Seidels mehr leisteten, als die von Hermann aufgestellten Formeln, so mufs dieses noch weit mehr von den trigonometrischen Entwickelungen Seidel's gesagt werden, denn diese gestatten die Verfolgung eines jeden Strahls durch ein System centrirter sphärischer Flächen mit jeder gewünschten Genauigkeit, ihre Anwendung bietet keinerlei Schwierigkeit dar und Seidel giebt aufserdem für den Rechner sehr nützliche Controlformeln, durch welche dieser die Richtigkeit seiner Rechnung prüfen kann.

In neuerer Zeit wurde dasselbe Problem von Zinken (genannt Sommer)[2]) behandelt, jedoch in etwas anderer

1) L. Seidel: Trigonometrische Formeln für den allgemeinsten Fall der Brechung des Lichtes an centrirten sphärischen Flächen. Carl's Repertorium f. physik. Technik, 1866, Bd. III, S. 167.

2) H. Zinken: Untersuchungen über die Dioptrik der Linsensysteme. Braunschweig 1870.

Weise wie von Seidel. Zinken legt nämlich durch die Krümmungsmittelpunkte der brechenden Flächen eine Ebene senkrecht zur Axe, eine zweite senkrecht zum einfallenden und eine dritte senkrecht zum gebrochenen Strahl und bestimmt die Beziehungen derselben zu einander, sowie ihre Durchschnitte mit den Strahlen auf trigonometrischem Wege; doch werden seine Formeln umständlicher als die Seidel'schen und deshalb in der praktischen Rechnung unbequemer. — Auch Hansen[1]) giebt für diesen Fall Formeln, welche denen Seidel's ganz ähnlich sind; nur sind sie weniger übersichtlich zusammengestellt; auch läſst Hansen diejenigen Formeln fort, welche zur Controle der Rechnung von Seidel beigefügt wurden.

Aus Obigem wird wohl zur Genüge hervorgehen, daſs Hr. Hermann nicht der erste war, welcher sich mit der Entwickelung von Formeln für den sogenannten „schiefen Durchgang" von Strahlen durch Linsensysteme beschäftigte. Solches darzulegen und dadurch (wenn auch etwas spät) die Priorität Seidel's zu wahren, ist der alleinige Zweck meiner Bemerkungen.

Hamburg, Herbst 1875.

XIII. *Notiz über Vocallaute und über eine natürliche Stimmgabel; von Dr. A. Krönig.*

Es ist eine Eigenthümlichkeit der Flüsterstimme, daſs man mit derselben, abgesehen von einigen wenigen unwesentlichen Ausnahmen, alle Sprachlaute ein- und ausathmend gleich vernehmlich und deutlich sprechen kann, was

1) P. A. Hansen: Untersuchung des Weges eines Lichtstrahls durch eine beliebige Anzahl von brechenden sphärischen Oberflächen. Abhandlungen d. math.-phys. Classe d. kgl. sächs. Gesellschaft. d. Wiss. Bd. X, 2, Leipzig 1871.

bei Anwendung der lauten Stimme durchaus nicht der Fall ist. Während in der genannten Beziehung sich die Flüsterstimme der lauten überlegen zeigt, erweist sich in einer anderen Richtung die erstere als beschränkt gegen die letztere. Mit dieser nämlich kann man jeden beliebigen Vocal mit jeder beliebigen Tonhöhe hervorbringen, über welche die Stimme überhaupt disponirt. Man singe das tiefste *u*, was man hervorzubringen vermag; man wird auf denselben tiefen Ton auch *i* singen können. Umgekehrt singe man das höchste *i*, welches man hervorzubringen vermag; man wird auf denselben hohen Ton auch *u* singen können. Dasselbe ist nun bei der Flüsterstimme durchaus nicht der Fall. Man singe flüsternd das höchste *u* und das tiefste *i*, welche man eben flüsternd zu singen im Stande ist, und man wird mit der gröfsten Deutlichkeit wahrnehmen, dafs jenes höchste *u* viel tiefer ist, als das tiefste *i*.

Die genannte Beschränktheit der Flüsterstimme kann man benutzen, um das gewöhnliche *a* der Stimmgabeln ohne Apparat ziemlich genau aufzufinden. Man singe zu diesem Zweck den Vocal *o* mit Flüsterstimme, und zwar so hoch, wie es irgend möglich ist, wenn das *o* ganz rein bleiben und noch keine Spur von *ö* durchklingen lassen soll. Dieses höchste flüsternd hervorgebrachte *o* ist fast ganz genau das gesuchte *a*. Um nun noch von der Flüsterstimme zur lauten überzugehen, kann man zuerst das geflüsterte *o* pfeifend wiedergeben, wozu nur eine äufserst geringe Veränderung der Mundstellung erforderlich ist. Den gepfiffenen Ton überträgt man dann leicht in die laute Singstimme.

Das tiefste reine *o*, welches man flüsternd singen kann, ist ungefähr das *d*, zu welchem das *a* der Stimmgabeln die Quinte bildet. Das tiefste reine *u*, was man flüsternd singen kann, ist ungefähr das unterhalb des eben genannten *d* liegende *c*. Das höchste reine *u*, was sich flüsternd singen läfst, liegt einen halben Ton tiefer, wie das höchste reine *o*. Versucht man, ein noch höheres *u* flüsternd zu

singen, so bemerkt man, dafs es anfängt in *ü* überzugehen.

Die Meinung, als ob bei einer bestimmten Höhe der Flüsterstimme nur ein einziger bestimmter Vocal sich hervorbringen liefse, würde irrig seyn. Man kann zum Beispiel auf dasjenige *cis*, welches die Decime des gewöhnlichen mittleren *a* bildet, ziemlich bequem die vier Vocale *ä*, *e*, *ö* und *ü* flüsternd singen.

Das gröfste Tonhöhenintervall der Flüsterstimme umfassen die Consonanten *sch* und *ch*. Versucht man, *sch* möglichst tief und möglichst hoch zu lautiren, so zeigen sich die beiden gefundenen Tonhöhen um mehr als zwei Octaven von einander entfernt. Das höchste geflüsterte reine *i* ist noch etwas höher als das höchste *sch*. Man kann im Allgemeinen jede mit lauter Stimme zu singende Melodie auch mit Flüsterstimme auf den Laut *sch* singen. Dagegen ist es im Allgemeinen nicht möglich, ein Lied, einen Text mit richtiger Tonhöhe und mit richtigen Vocalen flüsternd zu singen. Bei einem derartigen Versuche werden mit seltenen Ausnahmen entweder die Vocale oder die Melodie falsch werden.

Dafs die Vocallaute der Flüsterstimme nicht als Obertöne des lauten Stimmritzentones betrachtet werden können, ist ganz selbstverständlich, da bei der Entstehung der ersteren der letztere gar nicht existirt. Uebrigens scheinen doch die Vocallaute der Flüster- und der lauten Stimme demselben Grunde ihren Ursprung zu verdanken. Wenigstens ist zur Hervorbringung desselben Vocals mit Flüster- und mit lauter Stimme dieselbe Mundstellung erforderlich. Je nach der verschiedenen Höhe des lautgesungenen Vocals ändert sich nur die Stellung des Kehlkopfes. Es ist hiernach nicht unwahrscheinlich, dafs zum Studium der Vocallaute die Flüsterstimme geeigneter ist, als die laute, bei welcher der Stimmritzenton vielleicht nur ein störendes Element bildet.

Wer die vorstehend mitgetheilten Angaben seiner eigenen Prüfung unterwerfen will, wird dieselben wahrscheinlich

Anfangs nicht alle richtig finden. Dies kann seinen Grund indessen auch darin haben, dafs es erst nach einiger Uebung gelingt, die Höhe der Flüsterstimme richtig abzuschätzen und die Töne der flüsternden mit denen der lauten Stimme oder irgend eines musikalischen Instruments zu vergleichen.

XIV. *Notizen zur Geschichte des Principes der Erhaltung der Kraft;* *von Dr. G. Berthold in Ronsdorf.*

(Aus d. Monatsbericht. d. Akad. 1875, Oct., vom Hrn. Verf. übersandt.)

„Es ist ganz natürlich", sagt Thomas Buckle[1]), „dafs die physikalische Lehre von der *Unzerstörbarkeit* und ihre Anwendung sowohl auf die *Kraft* als die *Materie* wesentlich eine Schöpfung des jetzigen Jahrhunderts ist, trotz einiger Anspielungen, die frühere Denker darauf gemacht, denn sie tappten Alle auf's Unbestimmte und ohne einen allgemeinen Zweck umher. Kein *früheres Jahrhundert* war kühn genug, eine so herrliche Ansicht als ein *Ganzes* zu fassen; auch hatte früher kein Gelehrter Naturkenntnifs genug, um einen solchen Gedanken zu vertheidigen, wenn er ihn auch gehegt haben möchte." Buckle gab in diesen Worten nur einer Ansicht Ausdruck, welche noch jetzt fast allgemein verbreitet ist, der aber entschieden widersprochen werden mufs[2]). Wenn auch die rich-

1) Geschichte der Civilisation in England. Deutsch von Arnold Ruge. Leipzig 1865. 8. 2. Ausg. 2. Bd., S. 477.

2) Es ist das Verdienst Hrn. E. du Bois-Reymond's, zuerst wieder darauf aufmerksam gemacht zu haben, dafs das Princip der Erhaltung der Kraft einem Descartes, Leibniz, Voltaire, Haller bereits vollkommen bekannt war. E. du Bois-Reymond, in den Berichten der Berliner Akademie, 1868 S. 43, 1870 S. 837; — Voltaire in seiner Beziehung zur Naturwissenschaft, Rede usw. Berlin 1868, 8. p. 17; — Leibnizische Gedanken in der neueren Naturwissenschaft, Rede etc. Berlin 1874, 8. S. 48 f.

tige Formulirung des Gesetzes erst unserem Jehrhundert vorbehalten blieb, so findet sich der allgemeine Gedanke bereits bei Epikur deutlich ausgesprochen, und die Welt der Atome Epikur's, welche in ewiger Fallbewegung sind, und welche die Bewegung an sich haben, wird eben sowohl von diesem Princip beherrscht, wie die Weltmaschine eines Descartes und eines Leibniz. Epikur läfst freilich die Quantität der Bewegung im Universum constant bleiben, erläutert aber das Princip in einer Weise, welche an Leibniz erinnert. Die Constanz der Materie und die Constanz der Kraft wird nämlich von Epikur damit begründet[1]), dafs es keinen Ort aufserhalb des Universums gebe, wohin ein Theilchen der Materie zu entfliehen und von wo eine neue Kraft in das Universum einzudringen vermöge, ein Satz, welchem Leibniz folgende Fassung giebt[2]): „Die Körper des Universums können mit anderen Körpern, welche in dem Universum nicht enthalten sind, nicht communiciren. Das Universum ist also ein System von Körpern, welche mit anderen nicht communiciren, und daher erhält sich in ihm immer dieselbe Kraft". Der grofse Gedanke, welcher dem Systeme

1) *T. Lucreti Cari: De rerum natura libri sex. Recogn. J. Bernaysius. Lipsiae* 1871. 8. *lib. II, v.* 294—307, *p.* 38 *s.*

Nec stipata magis fuit umquam materiai
copia nec porro maioribus intervallis:
nam neque adaugescit quicquam neque deperit inde,
quapropter quo nunc in motu principiorum
corpora sunt, in eodem ante acta aetate fuere
et post haec semper simili ratione ferentur,
et quae consuerint gigni gignentur eadem
conditione et erunt et crescent vique valebunt,
quamtum cuique datum est per foedera naturai,
nec rerum summam commutare ulla potest vis:
nam neque quo possit genus ullum materiai
effugere ex omni quicquam est usquam, neque in omne
unde coorta queat nova vis inrumpere et omnem
naturam rerum mutare et vertere motus.

2) *Dynamica etc. pars II prop. VIII.* Leibnizens mathematische Schriften. Herausg. von Gerhardt. Halle 1860. 8. 2. Abth. 2. Bd. p. 434.

Epikur's zu Grunde lag, blieb unbeachtet[1]), bis Gassendi bei dem Versuche das System Epikur's zu erneuern, auch dieses Princip wieder an's Licht zog. „Ich bemerke", sagt Gassendi[2]), „dafs da die eingeborene Kraft der Atome weder verloren geht, wenn die concreten Körper zu ruhen anfangen, sondern nur gehemmt wird, noch erzeugt wird, wenn die Körper anfangen sich zu bewegen, sondern nur ihre Freiheit wieder erlangt, man sagen kann, gleich viel Trieb (*impetus*) bleibe beständig in den Körpern, wieviel von Anfang an dagewesen ist". Die allgemeine Aufmerksamkeit wurde indessen auf dies Princip erst gelenkt, als Descartes ebenfalls den Satz aufstellte[3]), dafs die Quantität der Bewegung im Universum constant bleibe, indem er so, wie Voltaire sagt[4]) „nur eine alte Chimäre Epikur's erneuerte". Wir übergehen als bekannt den Streit über das wahre Kräftemaafs, welcher sich zwischen Descartes und Leibniz erhob[5]), die Folgen dieses Streites, die Formulirung und Begründung des Principes der Erhaltung der Kraft durch Leibniz, die

1) Um weiteren Mifsbrauch zu verhüten möge es hier gestattet seyn, zwei Citate zu corrigiren, welche Hr. H. Klein (Die Principien der Mechanik etc. Leipzig 1872. 8. p. 42f.) beibringt. Das erste Citat aus Cicero's *Tuscul. disput. I,* 23 („*solum igitur, quod se ipsum movet, quia numquam deseritur a se, numquam ne moveri quidem desinit*") bezieht sich nur auf die Seele, und ist ein Gedanke, der wie Cicero selbst beifügt, aus Plato's Phädrus entlehnt ist. Das zweite Citat aus Placidus Heinrich (Die Phosphorescenz der Körper etc. Nürnberg 1812. 4. 2. Abth. S. 252) bezieht sich lediglich auf die Constanz der Materie.

2) *Animadversiones in* X. *libr. Diogenis Laërtii. Lugduni* 1675. *Fol. Ed. III, vol. I, p.* 241.

3) *Principia philosophiae. Amstelodami apud D. Elsevirium* 1677. 4. *P. II,* § 36, *p.* 37; § 42, *p.* 41; *P. III,* § 46, *p.* 65.

4) Article *Mouvement; Diction. philos. Oeuvres complètes de Mr. Voitaire, Aux Deux-Ponts.* 1792. 8. *t.* 61, *p.* 69.

5) Vergleiche: Montucla, *histoire de mathématique etc. nouv. éd. Paris* 1802. 4. *t. III, p.* 641. s. — Whewell, Geschichte der inductiven Wissenschaften. Deutsch von Littrow. Stuttgart 1840. 8. 2. Th., S. 92ff. — Schaller, Geschichte der Naturphilosophie etc. Leipzig 1841. 8. 1. Th. p. 490ff.

allgemeine Verbreitung des Principes durch Leibniz[1]) und Chr. Wolff[2]); wir setzen als bekannt die Anwendung voraus, welche Daniel Bernoulli in der Mechanik von dem Gesetz der lebendigen Kräfte machte, ein Gesetz, welches er auf Galilei's Pendelversuche und auf Huyghens's Theorie vom Schwingungs-Mittelpunkt zurückführt[3]).

Höchst eigenthümlich ist die Stellung, welche Spinoza zu dem Principe einnimmt. Aehnlich wie Kant, welcher in seiner Jugend eine Abhandlung über die wahre Schätzung der lebendigen Kräfte verfaſste, und später das Princip nicht erwähnt, trotzdem er die Materie, welche er constant setzt, aus Attractions- und Repulsionskräften hervorgehen läſst, hat auch Spinoza in seinen früheren Schriften dem Principe Rechnung getragen, um dasselbe später vollständig zu ignoriren[4]). In seiner Bearbeitung der Principien des Descartes (Spinoza bemerkt freilich ausdrücklich, daſs nicht alles in der Schrift enthaltene seinen eigenen Ansichten entspreche), findet sich das Princip ganz in der Weise von Descartes aufgestellt: „Dieselbe Menge von Bewegung und Ruhe, welche Gott dem Stoffe einmal eingedrückt hat, erhält Gott auch durch seinen Beistand"[5]). Eine etwas ausführlichere Erörterung wird dem Principe zu Theil in der erst in unseren Tagen wieder aufgefunde-

1) Leibnizens mathematische Schriften. Herausg. von Gerhardt. Halle 1860. 8. 2. Bd. S. 117ff., S. 123ff., S. 215ff., S. 236ff., S. 243ff., S. 440ff. — *G. G. Leibnitii opera philosophica omnia etc. Ed. J. E. E. Erdmann. Berolini* 1840. 4. *p.* 108, 113, 132, 138, 155, 191, 430, 438, 520, 604, 702, 716, 728, 747, 757, 775.

2) *Cosmologia generalis etc. Ed. nova. Francoforti et Lipsiae* 1736. 4. *Scetio II, cap. IV,* § 480*ss., p.* 372*ss.*

3) *Hydrodynamica etc. Argentorati* 1738. 4. *Sect. I,* § 19, *p.* 11*ss.*

4) Vergl. E. du Bois-Reymond in den Berichten der Berliner Akademie, 1872, S. 696 — Ueber eine Akademie der deutschen Sprache. Ueber Geschichte der Wissenschaft. Zwei Festreden etc. Berlin 1874, S. 48, 49.

5) R. Descartes' Principien der Philosophie etc. begründet durch B. von Spinoza. Uebers. von Kirchmann. Berlin 1871, 8. S. 67.

nen Abhandlung: ***Von Gott, dem Menschen und dessen Glück***[1]). Im ersten Theil im 9. Kapitel, welches die Aufschrift trägt: ***Von der geschaffenen Natur***, heifst es also: „Was nun die allgemeine geschaffene Natur anbetrifft oder die Modi oder Geschöpfe, die unmittelbar von Gott abhangen oder geschaffen sind, so kennen wir von diesen nicht mehr als zwei, nämlich die Bewegung[2]) im Stoff und den Verstand im denkenden Dinge. Von ihnen sagen wir, dafs sie von aller Ewigkeit gewesen sind und in alle Ewigkeit unverändert bleiben werden. Wahrlich ein Werk so grofs, wie es der Gröfse des Werkmeisters geziemte.

Was nun insbesondere die Bewegung anbetrifft, da diese eigentlich mehr in die Abhandlung von der Naturwissenschaft als hierher gehört, wie dafs sie von aller Ewigkeit her dagewesen ist und in Ewigkeit unverändert bleiben wird, dafs sie in ihrer Art unendlich ist, und dafs sie durch sich selbst nicht bestehen oder begriffen werden kann, sondern allein mittelst der Ausdehnung — von dem Allem, sage ich, werden wir hier nicht handeln, sondern darüber nur dies sagen: dafs sie ein Sohn, Geschöpf oder Product, unmittelbar von Gott geschaffen, ist.

Den Verstand in dem denkenden Dinge betreffend, so ist dieser, ebenso wie die erstere, auch ein Sohn, Geschöpf, oder unmittelbares Product Gottes, auch von aller Ewigkeit her von ihm geschaffen und in alle Ewigkeit unverändert bleibend[3]). Dessen Attribut ist aber nur eins,

1) B. de Spinoza's kurzgefafste Abhandlung von Gott, dem Menschen und dessen Glück. Uebers. von C. Schaarschmidt. Berlin 1874. 8. 2. Aufl., S. 38f.

2) In dem Manuscript findet sich hierbei folgende Anmerkung: „Was hier von der Bewegung im Stoff gesagt wird, ist nicht im eigentlichen Sinne gesagt, denn der Autor erwartet, davon noch die Ursache zu finden, wie er sie *a posteriori* einigermaafsen schon gefunden hat; doch mag es hier auch so stehen, weil Nichts darauf gegründet oder davon abhängig ist."

3) Der Gedanke, das Princip der Erhaltung der Kraft auch auf das Bewufstsein zu übertragen, findet sich auch bei Maupertuis in der

nämlich Alles klar und deutlich zu allen Zeiten zu begreifen, woraus eine unendliche oder aller vollkommenste Zufriedenheit unveränderlich entspringt, welche, was sie thut, zu thun nicht unterlassen kann".

In Spinoza's Ethik und in dessen Briefen finden wir dagegen keine Andeutung[1]) des hier so klar ausgesprochenen Principes. Das System Spinoza's wurde, in soweit es keine Rechenschaft von der Bewegung giebt, einer eingehenden Kritik von John Toland unterworfen. In zwei höchst beachtenswerthen Abhandlungen, welche den *Letters to Serena* angehängt sind, und welche zuerst die Einheit von Materie und Kraft betonen und als die Quellen betrachtet werden können, aus welchen der Monismus der Gegenwart seine hauptsächlichste Nahrung geschöpft hat[2]), wird das Princip, dafs die Actionsmenge im Universum stets constant sey, deutlich ausgesprochen, wenn auch Toland, trotz persönlicher Bekanntschaft mit Leibniz, an der Fassung von Descartes festhält. „Wie wir in der Materie", sagt Toland[3]), die Quantität der einzelnen

merkwürdigen Abhandlung, welche er unter dem Pseudonym eines Erlanger Doctor's Baumann 1751 unter dem Titel: *Dissertatio inauguralis metaphysica de universali naturae systemate* veröffentlicht hatte, und die als *Système de la nature* in seinen gesammelten Schriften wieder abgedruckt ist. Hier heifst es: „*La perception étant une propriété essentielle des éléments, il ne paroît pas qu'elle puisse périr, diminuer, ni s'accroître. Elle peut bien recevoir différentes combinaisons des éléments; mais elle doit toujours, dans l'Univers, former une même somme, quoique nous ne puissions ni la suivre ni la reconnoître.*" *Oeuvres de Mr. de Maupertuis. Nouv. éd. A. Lyon* 1756. 8. *t. II, p.* 155. *Système de la nature* § 53.

1) Hr. F. Cohn findet freilich, dafs Spinoza der Entdecker des Principes der Erhaltung der Kraft sey. „Die Einheit und Ewigkeit der Substanz mit ihren beiden Attributen Stoff und Kraft und ihren unzählbaren Modificationen, welche die Körper des Weltalls bilden, war zuerst als philosophisches Axiom von dem grofsen Denker Spinoza ausgesprochen worden." Die Entwickelung der Naturwissenschaft in den letzten 25 Jahren. Breslau 1872. 8. 2. Aufl. S. 15ff.

2) Vergleiche meine demnächst erscheinende Abhandlung: John Toland *und der Monismus der Gegenwart.* Heidelberg, C. Winter.

3) *Letters to Serena etc. London* 1704. 8. *p.* 159.

Körper und die Ausdehnung des Ganzen unterscheiden, von der diese Quantitäten nur die verschiedenen Determinationen oder Modi sind, welche durch ihre verschiedenen Ursachen entstehen und vergehen, so möchte ich, um besser verstanden zu werden, diese Bewegung des Ganzen Action genannt wissen, und alle Localbewegungen, mögen sie nun gerade oder kreisförmig, schnell oder langsam, einfach oder zusammengesetzt seyn, nur Bewegungen genannt wissen, da sie nur die verschiedenen wechselnden Determinationen der Action sind, welche stets im Ganzen und in jedem Theile dieselbe ist, und ohne welche sie keine Modificationen erhalten könnte". „So wie diese besonderen oder begränzten Quantitäten", heifst es an einer anderen Stelle[1]), „welche wir diese oder jene Körper nennen, nur die verschiedenen Modificationen der allgemeinen Ausdehnung der Materie sind, in welcher sie alle enthalten sind, und welche sie weder vermehren noch verringern: so sind, als eine adaequate Parallele, alle besonderen oder Localbewegungen der Materie nur die verschiedenen Determinationen ihrer allgemeinen Action, welche sie hierhin oder dorthin, durch diese oder jene Ursachen, auf diese oder jene Weise dirigiren, ohne sie irgendwie zu vermehren oder zu vermindern".

Die Versuche einiger englischen Autoren, das Princip der Erhaltung der Kraft auf Newton zurück zu führen, müssen als verfehlt bezeichnet werden. In beschränktem Maafse macht er allerdings davon Gebrauch, wie weit er aber davon entfernt war, das Princip auf das Universum zu übertragen, davon giebt der bekannte Ausspruch von Leibniz[2]) Zeugnifs, dafs die „göttliche Maschine" Newton's nach Newton's eigener Annahme so unvollkommen sey, „dafs sie von Zeit zu Zeit gereinigt und ausgebessert werden müsse". Dagegen finden wir bei Newton's grofsem Rivalen, Robert Hooke, das Princip

1) L. c. S. 176; vergleiche auch S. 193 ff.

2) *G. G. Leibniti opera philosophica omnita etc. Ed. J. E. Erdmann. Berolini* 1840. 4. *p.* 747.

in eigenthümlicher Fassung. Als das Ganze der Realitäten, welche unsere Sinne afficiren, sagt Hooke[1]), betrachte er Materie und Bewegung. Unter Bewegung verstehe er nichts Anderes als eine Alteration, oder die Kraft der Alteration in den kleinsten Theilchen eines Ganzen im Verhältnifs zu einander, eine Kraft, welche in irgend bestimmbarer Menge zu- oder abnehmen könne, „aber das natürliche Gleichgewicht des Universums ist reciprok der Masse oder der Ausdehnung, oder der Quantität der anderen Kraft, der Materie". „Ich halte diese beiden für zwei einzelne Mächte (*powers*), welche zusammenwirken, die meisten der wahrnehmbaren und unwahrnehmbaren Wirkungen der Welt hervorzubringen". Auf die Frage, was Materie und Bewegung sey, antwortet Hooke: „sie sind, was sie sind, Mächte, geschaffen von dem Allmächtigen, zu seyn, was sie sind und zu wirken, wie sie thun, welche *unveränderlich im Ganzen* sind, weder durch Vermehrung noch durch Verminderung". Obschon nun aber Robert Hooke sehr bestimmt die Wärme als eine Bewegung definirt, so war weder ihm noch Leibniz oder Daniel Bernoulli beschieden, das Verhältnifs zwischen Wärme und mechanischer Arbeit zu entdecken, wenngleich auch die letzteren nicht weit von dem Ziele entfernt waren, namentlich, worauf Hr. P. du Bois-Reymond aufmerksam gemacht hat[2]), Daniel Bernoulli. Ihm und Leibniz war der Verlust an lebendiger Kraft nicht unbekannt, welcher bei dem Stofs unelastischer Körper scheinbar stattfindet. Leibniz vergleicht[3]) die weichen Körper gelegentlich mit einem Sack voll elastischer Kugeln, welche bei einem mäfsigen Stofs nicht wieder die frühere Form annehmen, weil die Theile nicht genug mit einander verbunden sind. „Hiervon kommt es, dafs bei dem Stofse solcher Körper ein Theil der Kraft durch die

1) *The posthumous works of Robert Hooke etc. Published by Richard Waller etc. London* 1705. *Folio p.* 171 f.
2) Poggendorff's Annalen usw. 1859, Bd. 107, S. 490.
3) Mathematische Schriften etc. 2. Bd., S. 230 f.

kleinen Theile absorbirt wird, welche die Masse zusammensetzen, ohne dafs diese Kraft dem Ganzen zurückgegeben wird. — — — Indessen ist dieser Abzug der Totalkraft durchaus kein Verstofs gegen das Gesetz der Erhaltung der Kraft in der Welt. Denn was durch die kleinen Theile absorbirt wird, ist keineswegs für das Universum verloren, obgleich es für die Totalkraft der stofsenden Körper verloren ist". „Und nicht minder bezeichnend ist das Bild, mit welchem Leibniz den Uebergang von Massenbewegung in Molecularbewegung mit dem Wechseln eines grofsen Geldstückes in Scheidemünze vergleicht[1]). Daniel Bernoulli läfst den Theil an lebendiger Kraft, welcher bei dem Stofse unelastischer Körper scheinbar verloren geht, an eine *„materia subtilis"* übergehen und derselben inhärent bleiben[2]).

Erst bei Diderot finden wir eine Ahnung von der Einheit der Naturkräfte. Die merkwürdige Stelle in den *Pensées sur l'interprétation de la natnre* lautet so[3]): *„De même qu'en mathématique, en examinant toutes les propriétés d'une courbe, on trouve que ce n'est que la même propriété présentée sous des faces différentes, dans la nature on reconnoîtra, lorsque la physique expérimentale sera plus avancée, que tous les phénomènes, ou de la pesanteur, ou de l'élasticité, ou de l'attraction, ou du magnétisme, ou de l'électricité, ne sont que des faces différentes de la même affection."* Dafs Diderot die Wärme nicht mit aufführt, erklärt sich hinlänglich aus der damals herrschenden Lehre von der Materialität der Wärme. Durch Rumford geschah der grofse Schritt, thatsächlich nachzuweisen, dafs die Erzeugung der Wärme durch Reibung in einem bestimmten Aequivalent-Verhältnifs zu der aufgewandten mechanischen Arbeit stehe, und Rumford steht nicht an, als nothwendige Folge seiner Wärmetheorie den Satz aus-

1) *Opera philosophica etc. p.* 775,
2) *Hydrodynamica etc. Argentorati* 1738. 4. *Sect. I,* § 20, *p.* 13.
3) *Pensées sur l'interprétation de la nature, à Londres* 1754. 8. § 45, *p.* 61.

zusprechen, „dafs die Summe der lebendigen Kräfte im Universum immer dieselbe bleiben müsse“[1]). An Rumford schliefst sich unmittelbar Humphry Davy, welcher das Princip der Erhaltung der Kraft in folgenden Worten ausspricht[2]): *„No more sublime idea can be formed of the motions of matter, than to conceive that the different species are continually changing into each other. The gravitative, the mechanical, and the repulsive motion* (mit *repulsive motion* bezeichnet Davy die Wärme) *appear to be continually mutually producing each other, and from these changes all the phaenomena of the mutation of matter probably arise“*. Diese Worte wurden noch im letzten Jahre des vergangenen Jahrhunderts geschrieben, und somit mag unsere Behauptung als geschichtlich wohlbegründet erscheinen, dafs unser Jahrhundert weder den Anspruch erheben darf, das Princip der Erhaltung der Kraft erfunden, noch selbst ihm eine wesentlich neue Begründung gegeben zu haben. Hierdurch wird aber nicht im geringsten das Verdienst jener Männer geschmälert, welche das Princip von neuem entdeckt haben, ein Princip, welches seitdem von dem weittragendsten Einflusse nicht blofs auf die gesammten Naturwissenschaften, sondern auch auf unsere ganze Weltanschauung geworden ist.

1) *Mémoires sur la chaleur. A Paris. An* XIII. 8. *p.* 137. Vergleiche Rumford und die mechanische Wärmetheorie etc. von G. Berthold, Heidelberg 1875. 8. S. 83. — Die Amerikaner bemühen sich, Rumford die Entdeckung des Gesetzes der Erhaltung der Kraft zu vindiciren, so namentlich Youmans und Ellis, letzterer in dem *Memoir of Sir Benjamin Thompson, Count Rumford etc.* Philadelphia s. a. 8. *p.* 475ff.

2) *The collected works of Sir Humphry Davy etc. London* 1839. 8. *vol. II*, *p.* 29. Es ist sehr bezeichnend, dafs obiger Satz, welcher sich in dem Originalentwurf der Erstlingsarbeit von H. Davy (*An essay on heat, light and the combinations of light*, 1799) findet, von ihm selbst beim Druck gestrichen wurde wegen der *„vagueness of generalization“*, wie der Herausgeber der gesammelten Werke, John Davy, sagt (l. c.).

XV. *Ueber die Celsius'sche Thermometerscale.*

Hr. Prof. Weinhold in Chemnitz hat mir vor längerer Zeit eine Notiz übersandt, in welcher er darauf aufmerksam macht, dafs selbst noch in neueren Werken die Celsius'sche Thermometerscale mit der Centesimalscale identificirt wird, während sie doch von dieser wesentlich abweicht. Beide haben zwar dieselben Festpunkte, den Schmelzpunkt des Eises und den Siedepunkt des Wassers, und theilen den Abstand zwischen ihnen in hundert gleiche Theile; aber während die Centesimalscale von unten nach oben zählt, zählt Celsius von oben nach unten, wodurch seine Grade eine ganz andere Bedeutung bekommen, als die jetzigen hunderttheiligen. — Mir ist dies freilich längst bekannt; in meinen Vorlesungen über Geschichte der Physik pflege ich seit vielen Jahren das wahre Sachverhältnifs auseinanderzusetzen und auch hinzuzufügen, dafs Strömer, ein anderes Mitglied der Stockholmer Akademie († 1770) im Jahre 1750, sechs Jahre nach dem Tode von Celsius († 1744) dessen Scale umkehrte, so dafs er der eigentliche Urheber der Centesimalscale ist, wenn man diese Ehre nicht auf den Prof. Christin in Lyon übertragen will[1]). Aber wahr ist es, dafs man weder im Alten noch im Neuen Gehler'schen Wörterbuch ene genügendei Auskunft findet, obwohl alle beide sowohl die Stockholmer Denkschriften von 1742 als auch J. H. v. Swinden, *Diss. sur la comparaison des thermomètres*, *Amst.* 1775 citiren, wo das Sachverhältnifs klar auseinandergesetzt ist. Darum mag diese Notiz nicht überflüssig seyn.

Poggendorff.

1) Ich kenne die Originalarbeit Christin's nicht. Im Alten Gehler (Bd. IV, S. 324) ist blofs gesagt, dafs er den Abstand zwischen den Fundamentalpunkten in 100 Theile getheilt, auch den Siedepunkt nur mittelbar bestimmt habe.

A. W. Schade's Buchdruckerei (L. Schade) in Berlin, Stallschreiberstr. 47.